

NOVA

1 | 2

HAVO | VWO

LEEROPDRACHTENBOEK

NASK

MALMBERG



NASK

1 & 2 HAVO | VWO

Auteurs

P. van Hoeflaken

R. Tromp

Met medewerking van

Th. Smits

Vierde editie

MALMBERG 's-Hertogenbosch

www.nova-malmberg.nl

Voorwoord

Het boek dat je nu in je handen hebt, gebruik je bij het vak natuur- en scheikunde. Wat dat vak precies inhoudt, kunnen we niet in een paar woorden uitleggen. Daarom begint dit boek met een korte introductie om je een indruk van het vak te geven.

De methode
Nova bestaat uit een leeropdrachtenboek, digitaal materiaal en een uitwerkingenboek.

In het leeropdrachtenboek vind je alle leerstof die je moet leren. Na elke paragraaf staan opgaven die je helpen om de leerstof te onthouden en toe te passen. De opgaven zijn opgesplitst in leerstof-vragen, die vaak letterlijk in de theorie staan, en toepassingsvragen. Sommige opgaven zijn met een * gemerkt. Die zijn in het algemeen iets moeilijker.

Elk hoofdstuk wordt afgesloten met een aantal proeven (practica) en Test-Jezelf-vragen. Bovendien wordt achter in het boek uitgelegd welke vaardigheden je bij het vak nodig hebt.

Met de V-trainer in het digitale materiaal kun je vaardigheden oefenen.

Basisstof, plusstof en praktijk
De meeste leerstof in het boek werk je samen met de hele klas door. Dit is de basisstof die alle leerlingen moeten kennen.

Aan het einde van elke paragraaf staat plusstof. Daarmee ga je aan het werk als je klaar bent met de basisstof en nog tijd over hebt. Meestal is de plusstof iets moeilijker dan de basisstof.

Aan het einde van elk hoofdstuk staat praktijk: een artikel waarin een deel van de leerstof in een situatie uit het dagelijks leven of de wetenschap wordt besproken. Daarbij staan ook enkele opgaven.

Zelfstandig werken
Met *Nova* kun je goed zelfstandig werken. Je kunt alleen of met een groepje opgaven maken, onderzoek doen of jezelf overhoren met de Test-Jezelf-pagina's. Je zult ook af en toe uitleg krijgen met de hele klas.

Als je zelfstandig werkt, is het handig om een planning te maken. Dat betekent dat je van tevoren opschrijft wat je gaat doen en wanneer.

Natuur- en scheikunde gaat over de wereld om je heen. Het is boeiend en spannend om die wereld te ontdekken. We hopen dat dit boek je daar een handje bij kan helpen.

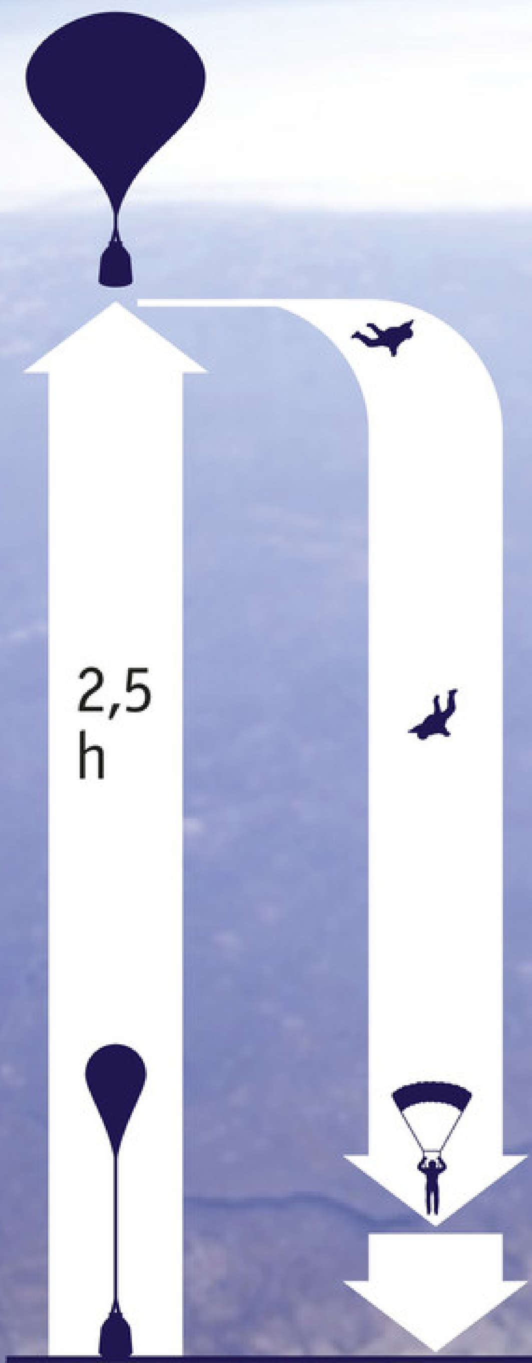
Veel succes!

De auteurs

Inhoudsopgave

1 Introductie

De sprong van Felix Baumgartner



bereikte hoogte:
39 045 m

vrije val:
4 min 19 s

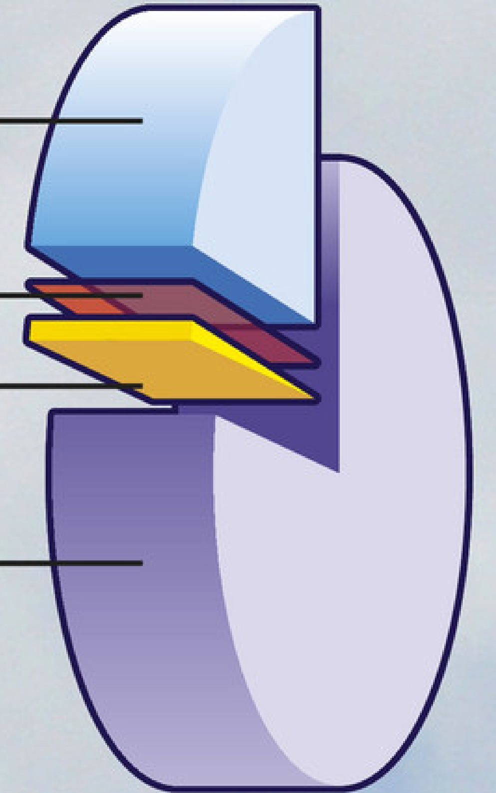
topsnelheid:
1342 km/h
(1,24 x de geluidssnelheid)

parachute open:
ca 2500 m

parachute afdaling:
ca 5 min

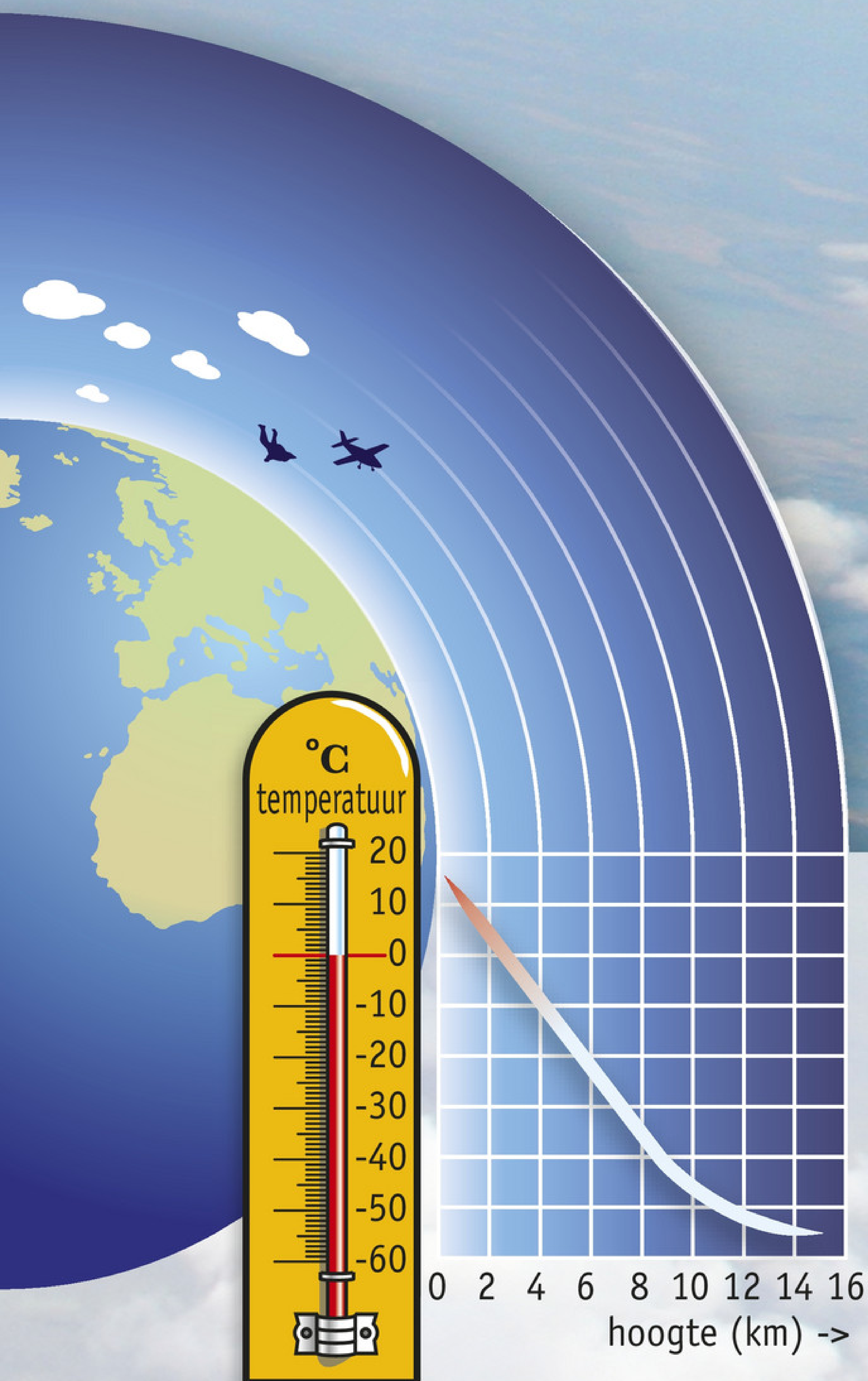


De samenstelling van lucht



Lucht is een mengsel van stikstof en zuurstof en kleine hoeveelheden andere gassen.

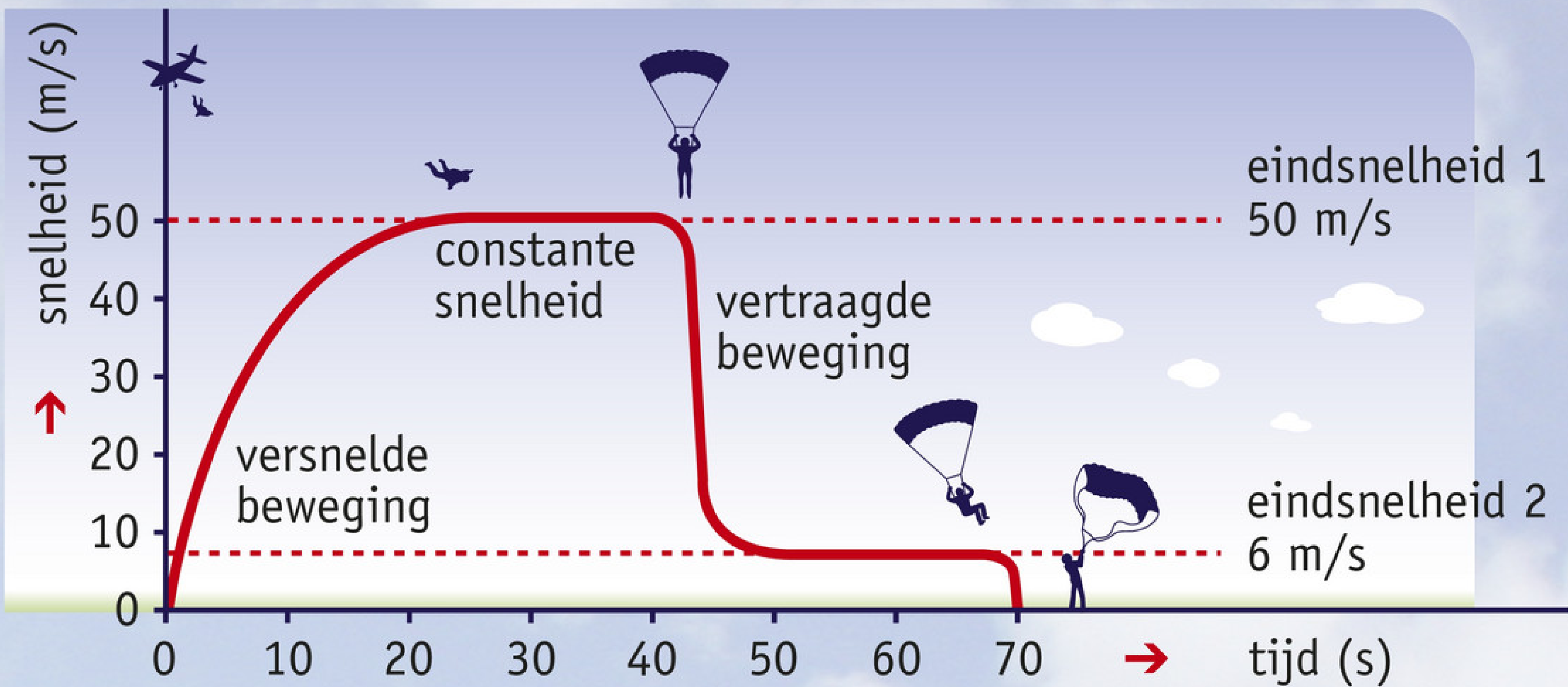




Temperatuur en hoogte

Hoe hoger je komt, des te kouder het wordt.
Op 4 km hoogte - de hoogte waarop een geoefend skydiver uit het vliegtuig stapt - vriest het dat het kraakt.

Valsnelheid



Hoe is het op 4 km hoogte?

dichtheid lucht	geluidssnelheid	luchtdruk	temperatuur	
0,82 g/cm^3	1166 km/h	620 mbar	-11 °C	4 km
1,38 g/cm^3	1224 km/h	1020 mbar	18 °C	zee-niveau

Natuurwetenschappen

Van ontdekking naar toepassing



▲ **figuur 1**
Als je een berg op rijdt, protesteren je oren.

Natuurwetenschappers hebben allerlei ontdekkingen gedaan. Deze ontdekkingen worden ook praktisch toegepast, in allerlei gebruiksvoorwerpen en apparaten. In bijna alle dingen die je gebruikt, zit kennis uit de natuurwetenschappen verwerkt: van een afwasmachine tot een zonnebril.

Onderzoek doen

Natuurwetenschappers onderzoeken hoe de wereld in elkaar zit. Ze kijken naar een **verschijnsel** en vragen zich af: wat gebeurt er precies en hoe zou dat komen? Als natuurwetenschapper wil je de 'natuur' kennen van de dingen om je heen: de manier waarop de dingen in elkaar zitten en werken. Je wilt dus niet alleen weten *wat* er gebeurt. Je wilt er ook achter komen *waarom* het zo gaat en niet anders.

Een verschijnsel is iets wat je kunt waarnemen. Denk bijvoorbeeld aan het vervelende gevoel in je oren, als je in een auto tegen een berg op rijdt (figuur 1). Dat neem je waar, of je wilt of niet. Als natuurwetenschapper wil je meer over zo'n verschijnsel weten. Je onderzoekt bijvoorbeeld:

- of het ook uitmaakt hoe snel de auto tegen de berg op rijdt;
- of de hoogte en de steilheid van de berg ook verschil maken;
- of mensen ook iets voelen als ze de berg weer af rijden;
- enzovoort.

Nadat je het verschijnsel nauwkeurig in kaart hebt gebracht, stel je de volgende vraag: "Waardoor krijg je dat gevoel in je oren?" Of, anders geformuleerd: "Hoe kun je dat gevoel verklaren?" Dat zoeken naar een **verklaring** is kenmerkend voor alle natuurwetenschappen. Je bent pas tevreden als je begrijpt wat er achter een verschijnsel zit.

De natuurwetenschappen bestaan al langer dan vandaag. In de loop van de tijd zijn voor allerlei verschijnselen goede verklaringen gevonden: ook voor dat vervelende gevoel in je oren, als je tegen een berg op rijdt. Je kunt daar meer over lezen in hoofdstuk 4. Toch is er voor jonge wetenschappers nog meer dan genoeg werk: veel verschijnselen wachten nog op een verklaring.

Toepassingen bedenken

Als je eenmaal hebt ontdekt hoe een verschijnsel in elkaar zit, kun je daar ook gebruik van maken. Bij het vak natuur- en scheikunde leer je daarom niet alleen over de ontdekkingen die natuurwetenschappers hebben gedaan. Je maakt ook kennis met **toepassingen** van die ontdekkingen.



▲ **figuur 2**
de hoogtemeter op de arm van een parachutist

Een van die toepassingen begon met een discussie over de 'natuur' van de luchtdruk: waardoor wordt die druk veroorzaakt? Een natuurwetenschapper kwam op het idee om een barometer – een instrument om de luchtdruk te meten – mee te nemen naar de top van een berg. Zo werd ontdekt dat de luchtdruk afhangt van de hoogte: hoe hoger je komt, des te lager is de luchtdruk.

Deze ontdekking werd al snel toegepast om een hoogtemeter te ontwerpen. Zo'n meter leidt uit de luchtdruk af op welke hoogte je je bevindt. Moderne hoogtemeters werken nog steeds volgens dit principe. Parachutisten die een vrije val maken, gebruiken zo'n meter om te bepalen wanneer ze hun parachute moeten opentrekken.

In de uitrusting van een parachutespringer is nog veel meer natuurwetenschappelijke kennis verwerkt. Om te beginnen in de parachute zelf, maar ook in de veiligheidshelm, de beschermende kleding en de zonnebril. Niet alleen het ontwerp, maar ook de gebruikte materialen zijn tot stand gekomen op basis van jarenlang onderzoek.

opdracht

1 Toepassingen van natuurwetenschappen kom je overal tegen. Bij deze opdracht ga je een powerpointdia maken met informatie over zo'n toepassing.

- **a** Zoek een mooie foto van zo'n toepassing. Gebruik een van de foto's op bladzijde 10 en 11 of zoek zelf een geschikte foto.
- **b** Zet de foto op een powerpointdia (liggend formaat) en zorg ervoor dat hij de hele dia vult.
- **c** Zoek informatie over de toepassing en over de natuurwetenschappelijke kennis die erin is verwerkt. Dat kan in de vorm van plaatjes en/of tekst.
- **d** Rangschik de informatie die je gevonden hebt, op de dia. Gebruik de afbeelding op bladzijde 10 en 11 als voorbeeld.
  Je docent zal je vertellen hoe je het eindproduct aan de klas gaat presenteren.

Om te onderzoeken: Hoe meet een arts je bloeddruk, gewicht, longinhoud, hartslag en ademhalingsfrequentie? Hoe zien de meetinstrumenten eruit?

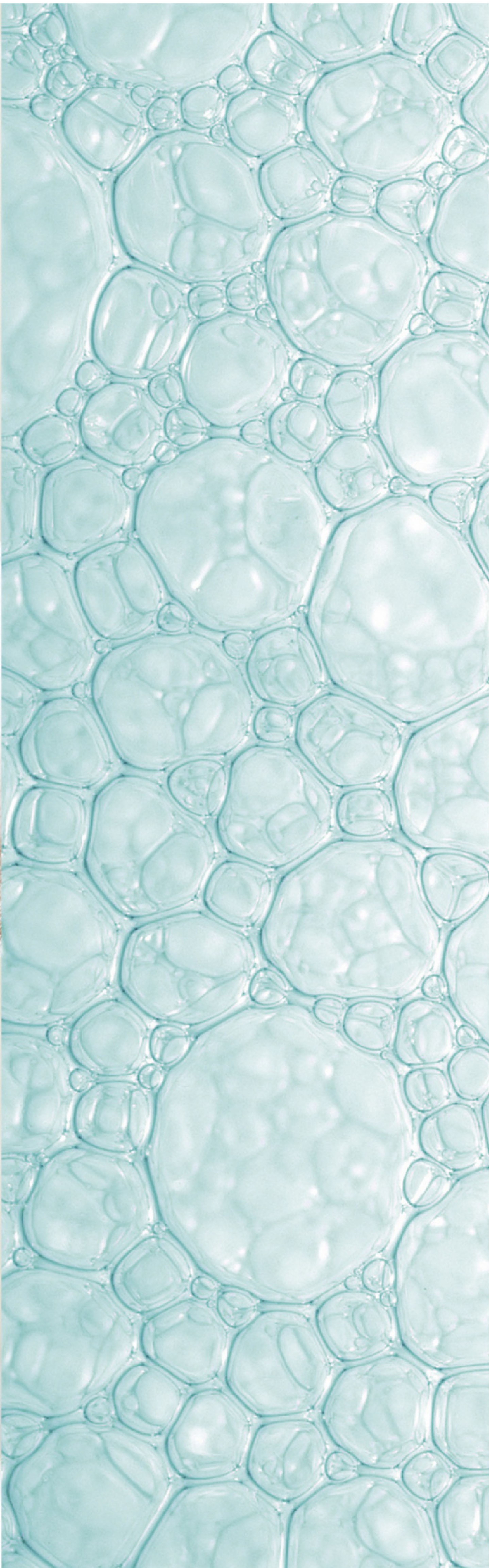
Om te onderzoeken: Hoe werkt de spiegel in de telescoop? Wat wordt bedoeld met brandpunt, infrarode en ultraviolette straling? Wat is een spectrum?

Om te onderzoeken: Hoe werkt zo'n zonnepaneel? Hoe kun je de elektrische energie opslaan? Waarom is er gekozen voor led-lampen?



Om te onderzoeken: Welke rol speelt zuurstof bij een brand? Wat is er nodig om een brand te laten ontstaan? Hoe kan een brand geblust worden?





2 Stoffen

Werken met stoffen

Stoffen gebruik je elke dag: je doet suiker in je thee, wast je haar met shampoo, spoelt je glas om met water, spuit deodorant op je huid, enzovoort. Om met stoffen te kunnen werken, moet je hun eigenschappen kennen.

1 Stoffen in huis



▲ figuur 1
enkele stoffen die je thuis kunt tegenkomen

Overal in huis vind je flessen, potjes en blikken met stoffen. Kijk maar eens rond in de keuken, de badkamer, de garage, het medicijnkastje, enzovoort. Je komt er stoffen tegen zoals keukenzout, suiker, azijn, soda, ammonia, wasbenzine, motorolie, paracetamol, jodium, enzovoort (figuur 1).

Stoffen herkennen

Sommige van die stoffen lijken veel op elkaar. Je ziet dan niet meteen met welke stof je te maken hebt. Wasbenzine, water en alcohol zien er bijvoorbeeld precies hetzelfde uit. Het zijn alle drie heldere, kleurloze vloeistoffen.

Soms helpt het om aan de stoffen te ruiken. Veel stoffen hebben een kenmerkende geur waaraan je ze meteen herkent. Denk aan de geur van benzine of de geur van het chloorgas dat je in een zwembad ruikt.

Je moet daarbij wel oppassen: sommige stoffen kunnen de slijmvliezen van neus en longen irriteren. Ruik daarom voorzichtig: haal de dop van de fles, wuif met je hand boven de hals heen en weer en snuif een beetje van de damp op (figuur 2). Zo voorkom je dat je te veel van een irriterende stof binnenkrijgt.

Stoffen ordenen Proef 1

Eigenschappen waaraan je stoffen kunt herkennen, noem je **stofeigenschappen**. Je kunt ze gebruiken om stoffen van elkaar te onderscheiden. Voorbeelden van stofeigenschappen zijn:
- **geur**: alcohol heeft een andere geur dan terpentine;
- **kleur**: koper is rood-oranje, goud is geel, lood is grijs;
- **smaak**: suiker smaakt zoet, keukenzout smaakt zout;
- **brandbaarheid**: benzine is brandbaar, water niet.



▶ figuur 2
Zo kun je veilig aan een fles ruiken.

Als je stoffen opbergt, zet je ze niet zomaar allemaal bij elkaar. Meestal berg je stoffen met dezelfde toepassingen bij elkaar op. Zo krijg je groepen stoffen, zoals voedingsmiddelen, medicijnen, schoonmaakmiddelen en brandstoffen.

Stoffen en veiligheid

Sommige stoffen die in het huishouden worden gebruikt, kunnen gevaarlijk zijn. Denk maar eens aan spiritus, wasbenzine, chloor, ammonia en allerlei medicijnen. Een stof kan bijvoorbeeld gevaarlijk zijn:
- als je de stof inademt;
- als je de stof inslikt;
- als je de stof op je huid, in je ogen of op je kleren krijgt;
- als je er met vuur bij komt;
- als je de stof met een andere stof mengt.

Daarom staan er waarschuwingen op de verpakkingen van gevaarlijke stoffen. De gevaren worden bovendien aangegeven met pictogrammen. Zo'n pictogram wordt ook wel een **gevarensymbool** genoemd. In figuur 3 vind je zes gevarensymbolen met hun betekenis.

Flessen met gevaarlijke stoffen hebben vaak kindveilige doppen. Deze moet je eerst stevig indrukken, voordat je ze kunt losschroeven.

▶ **figuur 3**
zes gevarensymbolen en hun betekenis

pictogram	betekenis + uitleg
	corrosief kan materialen, ogen en huid ernstig aantasten
	explosief kan door een vonk of schok ontploffen
	licht ontvlambaar kan heel gemakkelijk in brand vliegen
	brandbevorderend kan brandbare stoffen heviger laten branden
	giftig kan je ernstig ziek maken / dodelijk zijn
	schadelijk is schadelijk, kan ogen en huid irriteren

Plus R-zinnen en S-zinnen

In figuur 4 zie je het etiket op een fles gootsteenontstopper. Op het etiket staan, behalve drie pictogrammen, ook een aantal R- en S-zinnen. Een **R-zin** geeft aan voor welk gevaar je moet oppassen. De R staat voor Risk = risico. Een **S-zin** geeft aan welke veiligheidsmaatregelen je moet nemen. De S staat voor Safety = veiligheid.

Gootsteenontstopper is een corrosieve stof. Het kan je ogen en je huid ernstig aantasten. De R-zin maakt het gevaar duidelijk: de stof veroorzaakt ernstige brandwonden. In de S-zinnen staan passende veiligheidsmaatregelen, zoals in S37/39: draag handschoenen en bescherm je ogen, bijvoorbeeld met een veiligheidsbril.

▼ **figuur 4**
de veiligheidsinformatie op het etiket van gootsteenontstopper

Corrosief
Niet mengen
Chemisch afval

Vloeibare ontstopper (Natriumhydroxide oplossing 20%).
"EEG-etikettering" EEG nr: 215-185-5
UN Nr.: 1824 VLG:8.42[B].

R35	: Veroorzaakt ernstige brandwonden.
S1,2	: Achter slot en buiten bereik van kinderen bewaren.
S26	: Bij aanraking met de ogen onmiddellijk met overvloedig water afspoelen en deskundig medisch advies inwinnen.
S37/39	: Draag geschikte handschoenen en een beschermingsmiddel voor de ogen / voor het gezicht.
S45	: In geval van ongeval of indien men zich onwel voelt, onmiddellijk een arts raadplegen (indien mogelijk hem dit etiket tonen).

Niet mengen. Nooit samen met andere reinigingsmiddelen gebruiken, sterk alkalisch.

Een fabrikant mag de R- en S-zinnen niet zelf verzinnen, maar moet zich houden aan een officieel vastgestelde lijst. In 2015 wordt wereldwijd een nieuwe lijst van kracht: het GHS (Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals). Deze nieuwe lijst werkt met H-zinnen in plaats van R-zinnen (H = hazard = gevaar) en P-zinnen in plaats van S-zinnen (P = precaution = voorzorgsmaatregel).

opgaven **Leerstof**

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Wat wordt bedoeld met 'een stofeigenschap'?
- **b** Geef vier voorbeelden van stofeigenschappen.

2 Noteer een kenmerkende eigenschap van:
- **a** koper.
- **b** benzine.
- **c** suiker.
- **d** alcohol.

3 Leg uit wat het gevaar is:
- **a** van een corrosieve stof.
- **b** van een licht ontvlambare stof.
- **c** van een brandbevorderende stof.

Toepassing

4 Noteer een kenmerkende eigenschap van:
- **a** azijn.
- **b** lood.
- **c** olijfolie.
- **d** spiritus.

5 Je kunt stoffen indelen in groepen, zoals voedingsmiddelen, schoonmaakmiddelen, brandstoffen en medicijnen.
Noteer van elke stof bij welke groep(en) hij hoort.
- **a** ammonia
- **b** butaan
- **c** azijn
- **d** chloorbleekmiddel
- **e** kaarsvet
- **f** paracetamol
- **g** slaolie
- **h** spiritus
- **i** terpentine

6 Carlo heeft in zijn schuur een fles met mineraalwater, een fles met alcohol en een fles met wasbenzine. Na verloop van tijd zijn de etiketten op de flessen onleesbaar geworden. Bovendien zien de drie flessen er precies hetzelfde uit.
- **a** Hoe kan hij erachter komen welke stof in welke fles zit?
- **b** Aan welke stofeigenschap kan hij de stoffen dus herkennen?

7 Dezelfde stof kan er toch heel verschillend uitzien.
- **a** Hoe kan suiker eruitzien? Denk eraan hoe suiker verkocht wordt.
- **b** Hoe kan water eruitzien, bijvoorbeeld bij allerlei weersverschijnselen?

***8** Als je met gevaarlijke stoffen werkt, geldt de regel: voorkomen is beter dan genezen. Een rokende automobilist doet daarom eerst zijn sigaret uit, voor hij benzine gaat tanken.
Noteer een passende veiligheidsmaatregel (zelf bedenken) voor iemand:
- **a** die een verstopte afvoer openmaakt met gootsteenontstopper (corrosief).
- **b** die een deur voor het schilderen schoonmaakt met ammonia (irriterend).
- **c** die vetvlekken uit een broek haalt met wasbenzine (licht ontvlambaar).

Plus R-zinnen en S-zinnen

9 Op het etiket van een fles brandspiritus staan zes zinnen achter rondjes (•):

- Licht ontvlambaar.
- In goedgesloten verpakking bewaren.
- Verwijderd houden van ontstekingsbronnen. Niet roken.
- Gevaarlijk bij inwendig gebruik.
- Buiten bereik van kinderen bewaren.
- In geval van inslikken onmiddellijk een arts raadplegen en de verpakking of het etiket tonen.

a Geef van elke zin aan of het om een R-zin of S-zin gaat.
b In welke zinnen staan maatregelen om ongelukken te voorkomen?
c Welke zin vertelt je wat je moet doen, als er toch iets fout gaat?
d Welk gevarensymbool hoort er op dit etiket gezet te worden?

10 Zoek op internet een overzicht op met alle S-zinnen (of P-zinnen). Zoek en noteer een S-zin (of P-zin) die je kunt tegenkomen:
a op de verpakking van een corrosieve stof.
b op de verpakking van een giftige stof.
c op de verpakking van een licht ontvlambare stof.
d op de verpakking van een brandbevorderende stof.

2 Zuivere stoffen en mengsels

De meeste stoffen die je thuis tegenkomt, zijn mengsels. Dat zie je meteen als je op de verpakking van een voedingsmiddel of een medicijn kijkt. Daarop staat een lijst met de verschillende stoffen die in het product zitten: de ingrediëntendeclaratie. Soms zijn de ingrediënten zelf ook weer mengsels.

Mengsels en zuivere stoffen

In figuur 5 is de ingrediëntendeclaratie op een fles icetea afgebeeld. Water is het belangrijkste ingrediënt, zoals in alle frisdranken, en staat daarom voorop. De icetea bestaat verder uit zoetstoffen, zuren en geur- en smaakstoffen. Ook zit er een conserveermiddel in. Al deze stoffen worden afzonderlijk op het etiket vermeld.

Koolzuurvrije frisdrank met groene thee-extract.

Ingrediënten: water, invertsuiker, fructose, groene thee-extract, voedingszuur: citroenzuur, aroma zuurteregelaar: natriumcitraat, antioxidant: ascorbinezuur.
IJskoud serveren.
Na openen beperkt houdbaar en bewaren in de koelkast.
Ten minste houdbaar tot einde: zie boven.
INH. 1,5L e

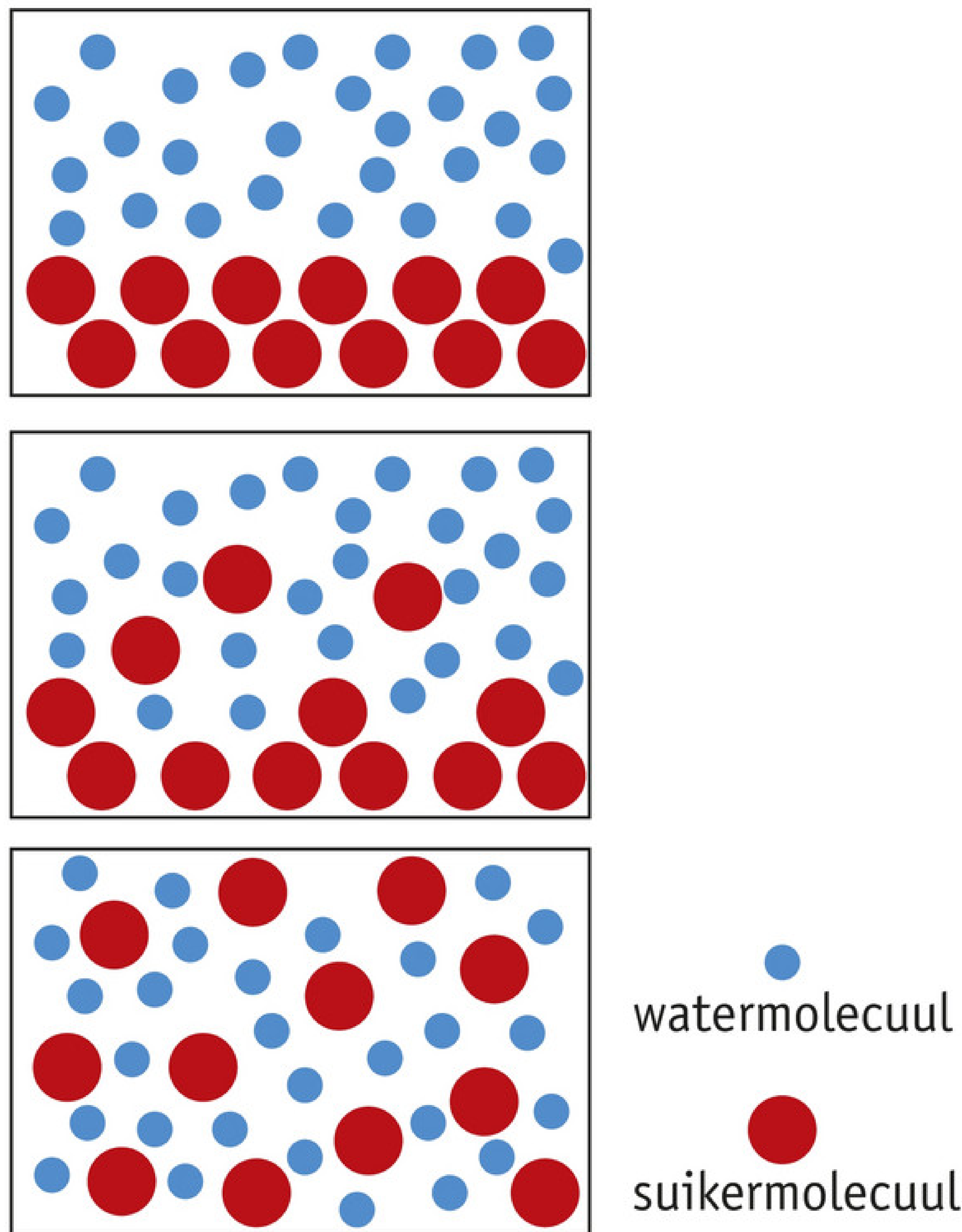
▶ **figuur 5**
de ingrediëntendeclaratie op een fles icetea

Je vindt in huis maar weinig stoffen die geen mengsels zijn. Stoffen die geen mengsel zijn, worden **zuivere stoffen** genoemd. Een voorbeeld van zo'n zuivere stof is kristalsuiker. In een pak suiker zit alleen maar suiker; er zitten geen andere stoffen doorheen. Ook keukenzout waar geen jodium aan is toegevoegd, is een zuivere stof.

Natuurwetenschappers zijn na veel onderzoek tot de conclusie gekomen dat stoffen bestaan uit heel kleine deeltjes. Deze deeltjes worden **moleculen** genoemd. Een zuivere stof bestaat uit één soort moleculen: zuiver water bestaat alleen uit watermoleculen, zuivere suiker alleen uit suikermoleculen, zuivere alcohol alleen uit alcoholmoleculen. Een mengsel bestaat uit verschillende soorten moleculen.

Oplossingen

Als je suiker in een glas hete thee doet en even roert, zie je dat de suikerkorreltjes verdwijnen. Je zegt dat de suiker oplost in de thee. Het mengsel dat je zo krijgt, wordt een **oplossing** genoemd. Water is hierbij het **oplosmiddel**, suiker de **opgeloste stof**. Dat de suiker niet echt verdwenen is, merk je als je de thee proeft: die smaakt nu zoet.



▲ **figuur 6**
Als suiker oplost, verspreiden de suikermoleculen zich tussen de watermoleculen.

Als een vaste stof zoals suiker oplost, verspreiden de moleculen van die stof zich tussen de moleculen van het oplosmiddel. In figuur 6 kun je zien hoe je je dat kunt voorstellen. Na verloop van tijd is de vaste stof volledig opgelost. De moleculen van de opgeloste stof worden dan aan alle kanten omringd door moleculen van het oplosmiddel.

Veel van de stoffen die je thuis vindt, zijn oplossingen. Voorbeelden zijn thee, sport- en frisdranken, deodorant, parfums en shampoo.

Oplossingen herkennen Proef 2

Oplossingen zijn helder en blijven altijd perfect gemengd. Cola is een goed voorbeeld: de frisdrank verandert niet als je hem in de kast laat staan: na een jaar is de frisdrank nog even goed gemengd als op de dag dat je hem kocht. Als een mengsel troebel (ondoorzichtig) is en na verloop van tijd ontmengt, kan het dus geen oplossing zijn.

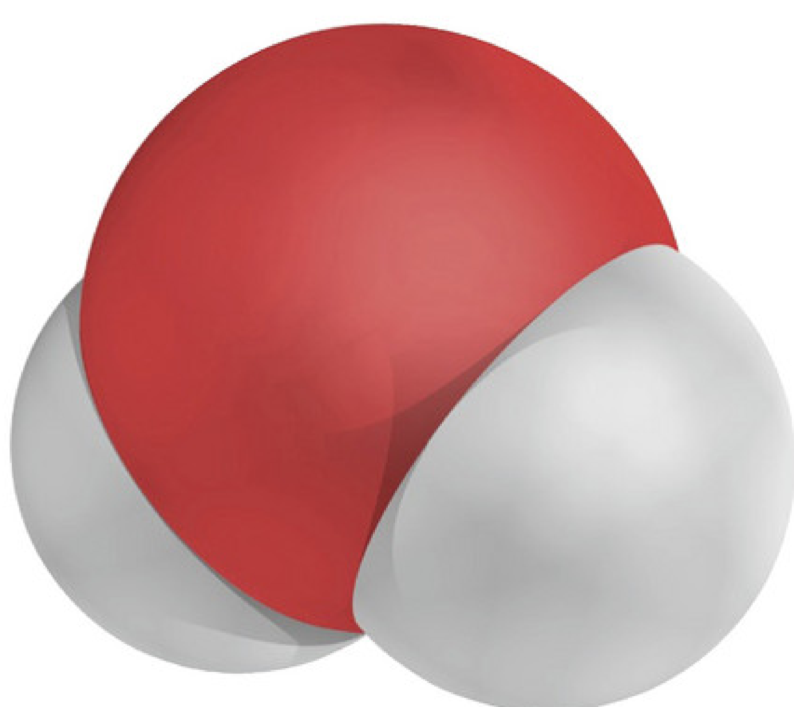
Verf bijvoorbeeld is geen oplossing, maar een **suspensie**: een vloeistof waarin een fijn verdeeld poeder zweeft. Omdat verf ontmengt – het poeder zakt na verloop van tijd naar de bodem van het blik – moet je verf roeren voor gebruik. Als er op een stof ‘schudden voor gebruik’ of ‘roeren voor gebruik’ staat, is het waarschijnlijk een suspensie.

Op een fles bronwater kan staan dat er ‘zuiver bronwater’ in de fles zit. Toch is bronwater scheikundig gezien geen zuivere stof. Er zitten allerlei opgeloste stoffen in het water, zoals je op het etiket kunt zien. Het woord ‘zuiver’ betekent in dit geval dat het water niet verontreinigd is met gevaarlijke stoffen of bacteriën. Je kunt het zonder gevaar voor je gezondheid drinken.

De grootte van moleculen

Moleculen zijn onvoorstelbaar klein. Hun afmetingen worden daarom gemeten in nanometers. Eén nanometer is een miljardste van een meter: 1 nm = 0,000 000 001 m. De diameter van een watermolecuul is ongeveer 0,15 nanometer. Een suikermolecuul is iets groter, met een diameter van 1 nanometer.

▼ **figuur 7**
Van een watermolecuul naar een pingpongbal naar de aarde is de stap telkens even groot.









▲ figuur 8
koffie filtreren

Het volgende voorbeeld laat je zien hoe klein één watermolecuul is. Stel je voor dat je een pingpongbal kunt 'opblazen' tot de grootte van de aarde. Als je een watermolecuul op dezelfde manier zou 'opblazen', dan zou die even groot worden als de pingpongbal. De aarde is ongeveer 300 miljoen keer zo groot als een pingpongbal, en een pingpongbal is ongeveer 300 miljoen keer zo groot als een watermolecuul (figuur 7).

Dat moleculen zo klein zijn, betekent dat ze door heel kleine openingen passen. Dat merk je als je een oplossing in een thee- of koffiefilter giet. Er blijft niets in het filter achter. De moleculen kunnen het filter passeren door kleine openingen tussen de papiervezels. Ook al zijn die openingen voor mensen niet zichtbaar, voor moleculen zijn het enorme gaten.

Extraheren en filtreren Proef 3 en 4

Als je heet water bij gemalen koffie doet (figuur 8), lossen de geur- en smaakstoffen in de koffie op in het water. Je gebruikt het hete water dus om de geur- en smaakstoffen uit de koffie te halen. Dit wordt **extraheren** (letterlijk: eruit trekken) genoemd. Je extraheert de geur- en smaakstoffen met heet water als oplosmiddel.

Om het koffiedik (de 'koffieprut') te verwijderen, gebruik je een **filter**. De koffie kan gemakkelijk door de openingen in het filter stromen. Het koffiedik kan dat niet. Dat bestaat uit korrels die veel te groot zijn voor de openingen in het filter. De koffie komt dus in de koffiekan terecht, terwijl het koffiedik in het filter achterblijft. Je noemt koffie het **filtraat** en het koffiedik het **residu**.



▲ figuur 9
Veel parfums bestaan uit geurstoffen die zijn opgelost in alcohol.

Plus Alcohol als oplosmiddel

Er zijn stoffen die niet in water oplossen, zoals vetten en oliën. Voor deze stoffen heb je een ander oplosmiddel nodig, zoals alcohol of wasbenzine. Je kunt alcohol bijvoorbeeld gebruiken om voorwerpen vetvrij maken. Het vet op het voorwerp lost op in de alcohol, waarna je de alcohol kunt opvegen met een doek.

Alcohol wordt in allerlei producten als oplosmiddel gebruikt (figuur 9). Voorbeelden zijn parfums, deodorant en bepaalde soorten inkt en lak. Sommige stiften hebben inkt 'op alcoholbasis'. Als je met zo'n stift schrijft of tekent, verdampt de alcohol en blijven de kleurstoffen achter. Je kunt de alcohol dan goed ruiken.

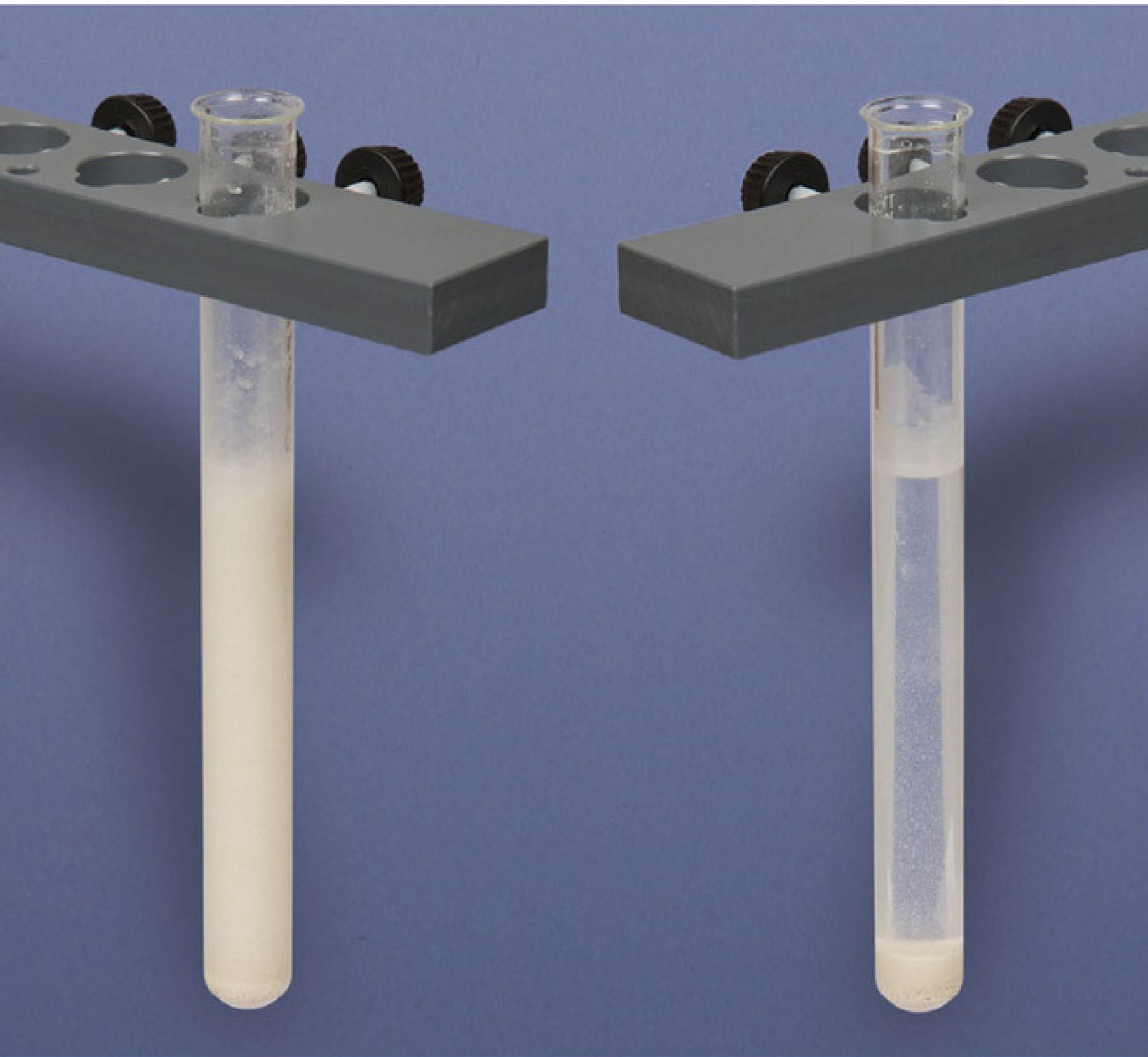
De stof die in het dagelijks leven alcohol wordt genoemd, heet in de scheikunde **ethanol**. Als op een etiket ethanol staat, wordt daarmee 'gewone' alcohol bedoeld: dezelfde stof die in bier en wijn zit. Scheikundigen gebruiken het woord alcohol als een verzamelnaam voor een hele groep stoffen. Voor hen is ethanol een van de vele soorten alcohol.

opgaven

Leerstof

11 Hoe wordt in de scheikunde een stof genoemd:
- **a** die uit verschillende soorten moleculen bestaat?
- **b** die maar uit één soort moleculen bestaat?

12 Noteer of de volgende uitspraken waar (W) zijn of onwaar (O).
- **a** Als je koffie zet, gebruik je water als oplosmiddel.
- **b** Oplossingen zijn altijd kleurloos (net zoals water).
- **c** Een suspensie blijft op den duur niet perfect gemengd.
- **d** Een suspensie is helder: je kunt er doorheen kijken.
- **e** Suspensies en oplossingen zijn geen zuivere stoffen.
- **f** De meeste stoffen in het dagelijks leven zijn mengsels.



▲ **figuur 10**
de proef van Charlotte

13 Noteer de woorden die je op de puntjes kunt invullen.
- **a** In gemalen koffiebonen zitten allerlei verschillende geur- en …
- **b** Deze stoffen lossen op als je … … over gemalen koffie giet.
- **c** De stoffen die niet in water oplossen, blijven achter in het …
- **d** De vers gezette koffie in de koffiepot noem je het …
- **e** De vieze koffieprut in het filter noem je het …

Toepassing

14 Noteer van elke stof of het volgens jou een oplossing of een suspensie is. Zet er steeds bij waarom je dat denkt.
- **a** thee met suiker
- **b** sinaasappelsap
- **c** een energiedrank zoals Red Bull
- **d** karnemelk

15 Charlotte doet een spatelpunt wit poeder in een reageerbuis. Ze voegt gedestilleerd water toe en schudt. In figuur 10 zie je hoe de inhoud van de reageerbuis eruitziet: meteen na het schudden (links) en één uur later (rechts).
- **a** Waaraan zie je dat het witte poeder niet is opgelost?
- **b** Welk soort mengsel is er na het schudden ontstaan?
- **c** Wat is er na een uur met het witte poeder gebeurd?



▲ **figuur 11**
thee zetten = extraheren + filtreren

16 Met een theezakje kun je snel een kop thee zetten (figuur 11). Wat is in deze situatie:
- **a** het oplosmiddel?
- **b** het filter?
- **c** het filtraat?
- **d** het residu?

17 Filters raken vaak verstopt waarna de vloeistof niet meer door het filter heen loopt.
- **a** Geef daar een verklaring voor.
- **b** Zal een filter eerder verstopt raken door een grof poeder of door een fijn poeder? Licht je antwoord toe.

***18** Soms kun je de stoffen in een mengsel scheiden door het mengsel te filtreren.
- **a** Leg uit:
  - waarom dat wel lukt met een suspensie.
  - waarom dat niet lukt met een oplossing.
- **b** De openingen in papieren filters hebben een doorsnede van 10 tot 25 micrometer.
  1 micrometer = een miljoenste van een meter = 0,000 001 m.
  Stel je voor: iemand maakt een model van watermoleculen in een filter. De watermoleculen krijgen in dit model de grootte van een pingpongbal.
  Hoe groot zullen de openingen in het filter worden, als je die op dezelfde schaal weergeeft? Schrijf je berekening op.

Plus Alcohol als oplosmiddel

19 Ethanol is een bestanddeel van allerlei producten.
- **a** Hoe wordt ethanol in het dagelijks leven genoemd (en op het etiket van veel producten)?
- **b** Waarom is water niet geschikt om als oplosmiddel in parfums gebruikt te worden, en ethanol wel?
- **c** Op een site met tips voor het huishouden staat: “Je kunt vetvlekken uit textiel verwijderen door te deppen met een sterkedrank, zoals wodka.”
  Leg uit waardoor de vlekken wel verdwijnen als je met wodka dept, en niet als je gewoon schoon water gebruikt.
- **d** Klieren in je huid produceren huidvet dat de huid beschermt tegen uitdroging.
  Leg uit hoe het komt dat je huid droog gaat aanvoelen, als die veel met ethanol in aanraking komt.

20 Zoek op internet informatie over brandspiritus.
Beantwoord daarmee de volgende vragen.
- **a** Voor welke doeleinden wordt brandspiritus gebruikt?
- **b** Wat mag je beslist niet met brandspiritus doen?
- **c** Waarom wordt brandspiritus ook wel ‘gedenatureerde alcohol’ genoemd?
- **d** Wat is het belangrijkste bestanddeel van brandspiritus?
- **e** Uit welke stoffen bestaat brandspiritus nog meer?
- **f** Leg van elke stof uit met welk doel hij aan de brandspiritus is toegevoegd.

3 Massa en volume

Pannenkoeken
(met gist, voor 1 klas)
***
1,5 kg bloem
30 gram zout
6 eieren
60 gram gist
2,7 liter melk
240 gram boter

▲ **figuur 12**
een recept voor pannenkoeken

Het gebeurt regelmatig dat je een bepaalde hoeveelheid van een stof nodig hebt: niet meer, niet minder. In recepten staat bijvoorbeeld aangegeven hoeveel je van elk ingrediënt moet gebruiken (figuur 12). En bij medicijnen is het heel belangrijk dat ze de juiste hoeveelheid werkzame stof bevatten.

Een hoeveelheid stof afmeten

Er zijn verschillende manieren om stoffen af te meten. Dat merk je als je in de keuken aan het werk gaat. Voor vaste stoffen, zoals meel en suiker, is een weegschaal handig. Vloeistoffen, zoals water en melk, worden vaak afgemeten met een maatbeker. Bij de vakken natuur- en scheikunde worden vergelijkbare meetinstrumenten gebruikt.

Massa

Met een weegschaal kun je de **massa** van een hoeveelheid stof bepalen (figuur 13). De massa is een maat voor de hoeveelheid stof: twee keer zoveel massa betekent dat je twee keer zoveel stof hebt, enzovoort. Als je bij het afwegen van suiker de massa verdubbelt, wordt het aantal suikermoleculen ook twee keer zo groot.



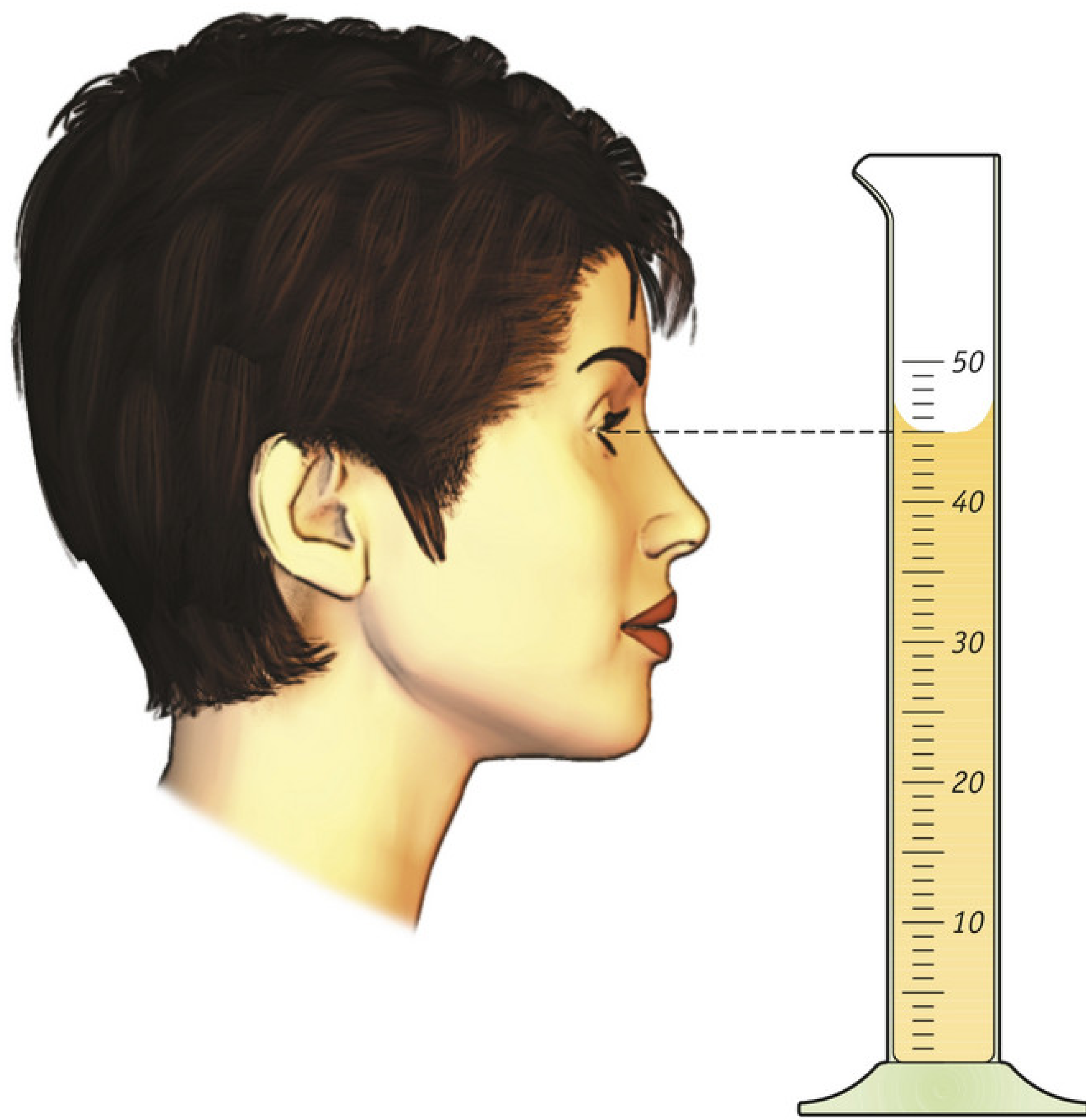
▲ **figuur 13**
werken met een weegschaal

De eenheid van massa is de kilogram (kg). Je zegt dat de **grootheid** massa wordt gemeten in de **eenheid** kilogram. Van de kilogram zijn verschillende grotere en kleinere eenheden afgeleid, zoals de ton (t), de gram (g) en de milligram (mg). Onthoud:

- 1 t = 1000 kg
- 1 kg = 1000 g
- 1 g = 1000 mg

In de natuurkunde zijn massa en gewicht twee verschillende dingen. De massa geeft aan uit hoeveel stof een voorwerp bestaat. Het gewicht is de kracht waarmee het voorwerp aan je handen trekt (als je het optilt) of op de vloer drukt (als je het neerzet). Hoe groot het gewicht is, hangt niet alleen af van de massa (= de hoeveelheid stof in het voorwerp), maar ook van de sterkte van de zwaartekracht.

In het dagelijks leven maak je geen verschil tussen massa en gewicht, omdat de zwaartekracht op aarde toch overal even groot is. Maar als je de aarde verlaat, geldt dat niet meer. Astronauten weten heel goed dat hun gewicht enorm kan veranderen, terwijl hun massa – de hoeveelheid stof waaruit hun lichaam bestaat – gelijk blijft.



▲ **figuur 14**
Zo lees je een maatcilinder af.

Volume

Met een maatcilinder kun je het **volume** van een hoeveelheid vloeistof bepalen. Je weet dan hoeveel ruimte de vloeistof inneemt. Het volume is een maat voor de hoeveelheid stof: 2× zoveel volume betekent dat je 2× zoveel stof hebt, enzovoort. In figuur 14 zie je hoe je een maatcilinder afleest: met je ogen op dezelfde hoogte als het vloeistofoppervlak. Op die manier vind je het volume van de vloeistof in milliliter (mL).

De milliliter is afgeleid van de eenheid liter (L). Deze eenheid wordt alleen voor vloeistoffen en gassen gebruikt. In andere gevallen gebruik je kubieke decimeter (dm^3). Toch betekenen de aanduidingen liter en dm^3 precies hetzelfde:
1 liter is hetzelfde als 1 dm^3: de ruimte die wordt ingenomen door een kubus met ribben van 1 dm;
1 milliliter is hetzelfde als 1 cm^3: de ruimte die wordt ingenomen door een kubus met ribben van 1 cm (figuur 15).



▲ **figuur 15**
1 dm^3 = 1000 cm^3

Onthoud:
- 1 m^3 = 1000 dm^3 = 1000 L
- 1 dm^3 = 1000 cm^3 = 1 L
- 1 cm^3 = 1 mL

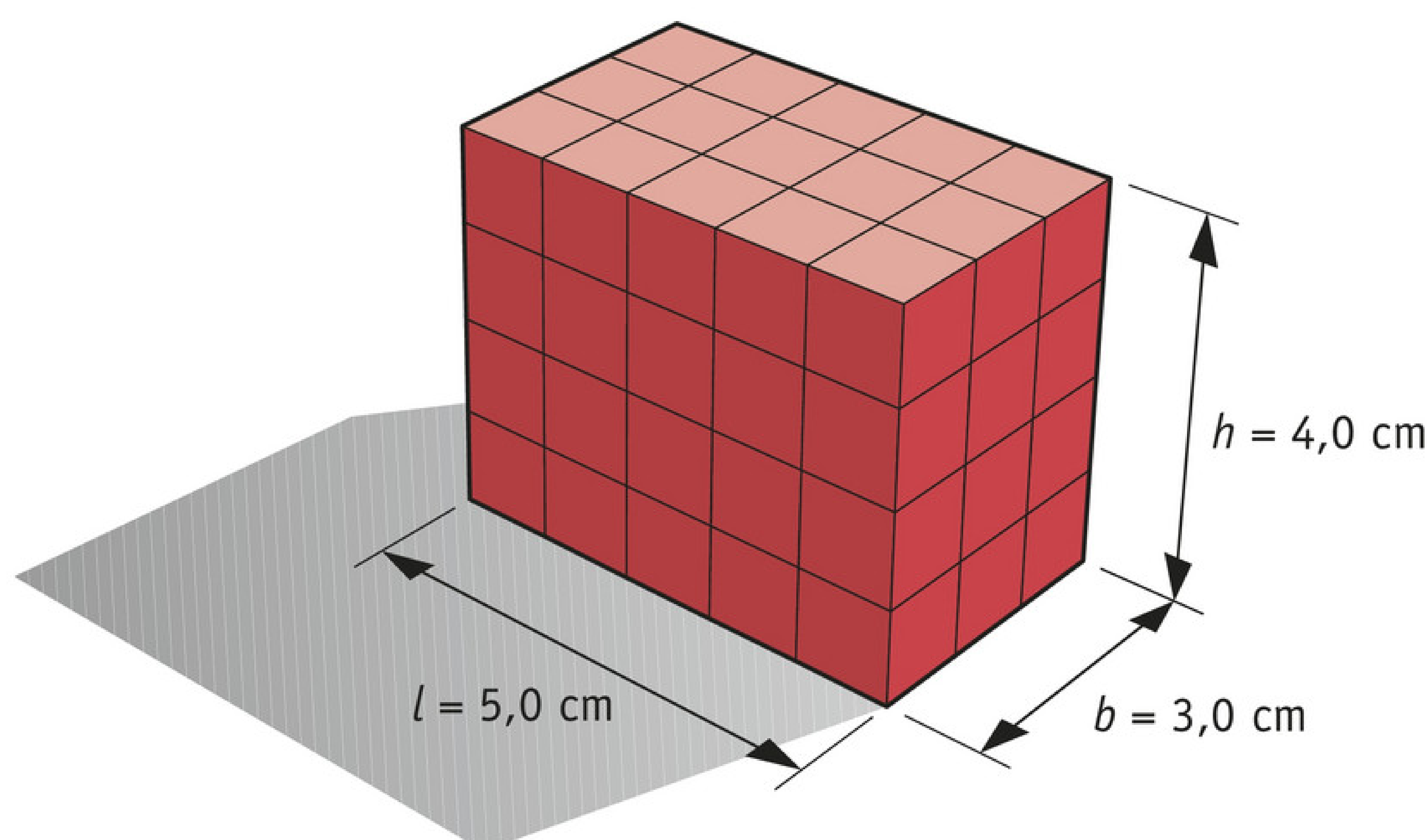
Het volume berekenen Proef 5

Voorwerpen nemen een bepaalde ruimte in. Die ruimte noem je het volume van het voorwerp. Je kunt het volume van een rechthoekig voorwerp berekenen met de formule: volume = lengte × breedte × hoogte (figuur 16). Of in letters:

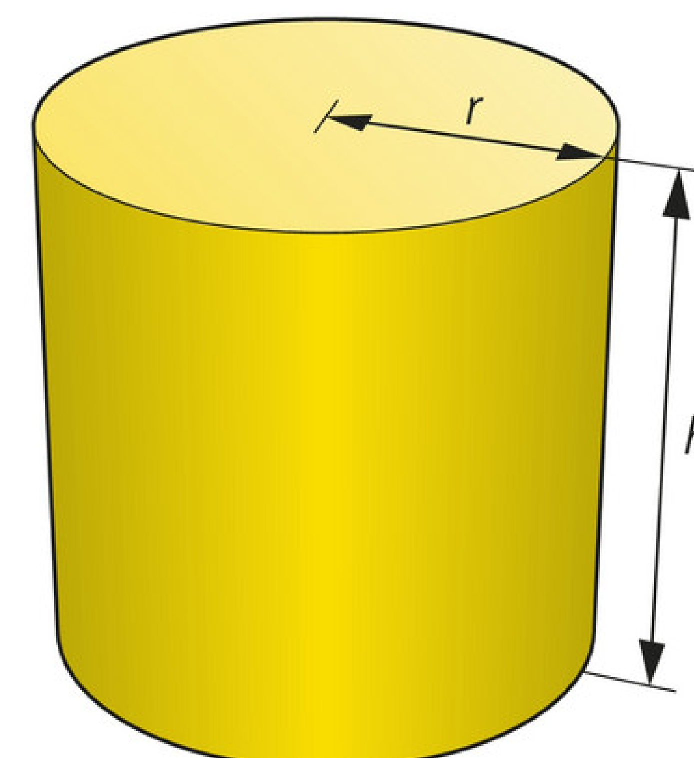
$$V = l \cdot b \cdot h$$

Je kunt het volume van een cilinder berekenen met de formule: volume = pi × straal × straal × hoogte (figuur 17). Of in letters:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$



▲ **figuur 16**
het volume van een rechthoekig voorwerp: $V = l \cdot b \cdot h$



▲ **figuur 17**
het volume van een cilinder: $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$

Als je de afmetingen (l, b, h en r) invult in centimeters (cm), vind je het volume in kubieke centimeter (cm^3). Als je de afmetingen invult in decimeters (dm), vind je het volume in kubieke decimeter (dm^3).

Voorbeeldopgave 1
Bereken het volume van een beschuitbus. De bus is 20 cm hoog en heeft een diameter van 11,2 cm. Rond af op een geheel getal.

gegevens $r = 11{,}2 : 2 = 5{,}6$ cm
$h = 20$ cm

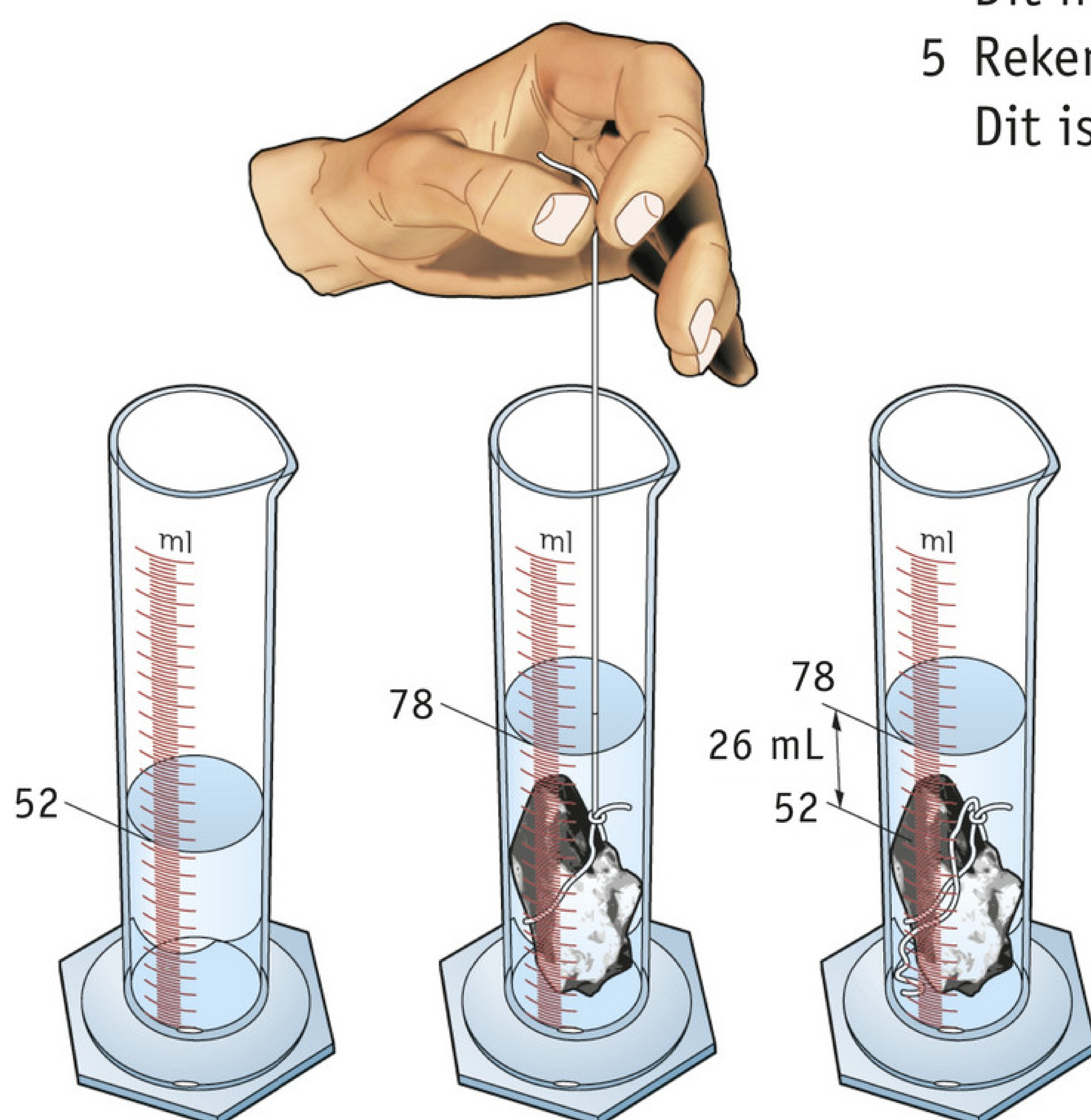
gevraagd $V = ?$

uitwerking $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$
$= \pi \times (5{,}6)^2 \times 20$
$\approx 1970\ cm^3$

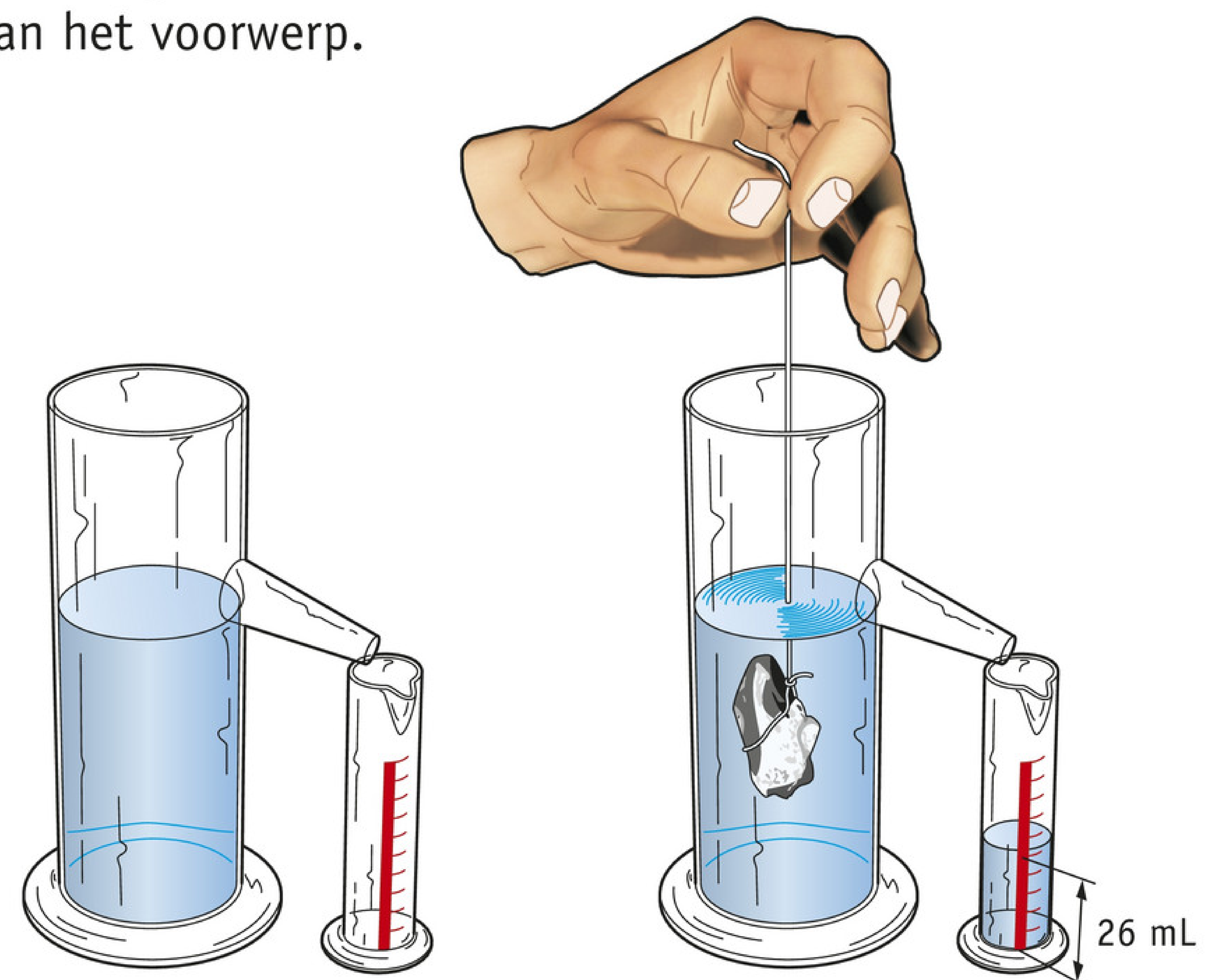
Het volume met een proef bepalen Proef 6

Het volume van voorwerpen met een onregelmatige vorm, bijvoorbeeld een kiezelsteen, kun je bepalen met de **onderdompelmethode** (figuur 18). Die werkt zo:

1 Vul een maatcilinder tot een bepaalde hoogte met water.
2 Lees de stand van het water af.
Dit noem je de **beginstand**.
3 Laat het voorwerp voorzichtig in het water zakken.
Het voorwerp moet helemaal onder water komen.
4 Lees opnieuw de stand van het water af.
Dit noem je de **eindstand**.
5 Reken uit: eindstand – beginstand.
Dit is het volume van het voorwerp.



▲ **figuur 18**
Zo werkt de onderdompelmethode.



▲ **figuur 19**
de onderdompelmethode in een overloopvat

Met een overloopvat gaat het nog gemakkelijker (figuur 19). Je moet het overloopvat tot het overlooptuitje vullen met water. Als je hierin het voorwerp onderdompelt, zal er een hoeveelheid water door het tuitje stromen die hetzelfde volume heeft als het voorwerp. Als je het uitgestroomde water in een maatcilinder opvangt, kun je het volume bepalen.



minerale samenstelling

calcium	106 mg/L
magnesium	16 mg/L
natrium	6 mg/L
kalium	3 mg/L

▲ **figuur 20**
de informatie op een flesje mineraalwater

Plus De samenstelling van mengsels

Soms is het belangrijk om de precieze samenstelling van een mengsel te kennen. Je wilt niet alleen weten welke stoffen er in het mengsel zitten, maar ook in welke hoeveelheden. Er zijn verschillende manieren om dat aan te geven.

Bij drinkwater wordt de **concentratie** van de opgeloste stoffen vaak gegeven in milligram per liter. Het mineraalwater in figuur 20 bevat bijvoorbeeld 106 mg calcium per liter. Dat betekent dat een liter van dit mineraalwater 106 mg calcium bevat. In een flesje van 500 mL zit dus 106 : 2 = 53 mg calcium.

Bij alcoholische dranken wordt het alcoholgehalte gegeven in volumeprocent (vol%). Bier heeft bijvoorbeeld een alcoholgehalte van 5 vol%. Dat betekent dat er in 1 L bier 50 mL alcohol zit. In een flesje met 30 cL (= 300 mL) zit dus 5% van 300 mL = 15 mL alcohol.

opgaven **Leerstof**

21 Leg uit:
- **a** hoe je de massa van een hoeveelheid vaste stof kunt meten.
- **b** hoe je het volume van een hoeveelheid vloeistof kunt meten.
- **c** hoe je het volume van een rechthoekig blokje kunt bepalen.
- **d** hoe je het volume van een kiezelsteen kunt bepalen.

22 Neem over en vul in.
- **a** 1 kg = … g
- **b** 1 g = … mg
- **c** 1 m^3 = … dm^3
- **d** 1 dm^3 = … cm^3
- **e** 1 L = … mL
- **f** 1 mL = … cm^3

Toepassing

23 Zie vaardigheid 3 achter in het boek.
Op veel verpakkingen staat de massa van de inhoud vermeld in gram of in kilogram.
Neem tabel 1 over en vul de ontbrekende gegevens in.

▼ **tabel 1** de inhoud in gram en in kilogram

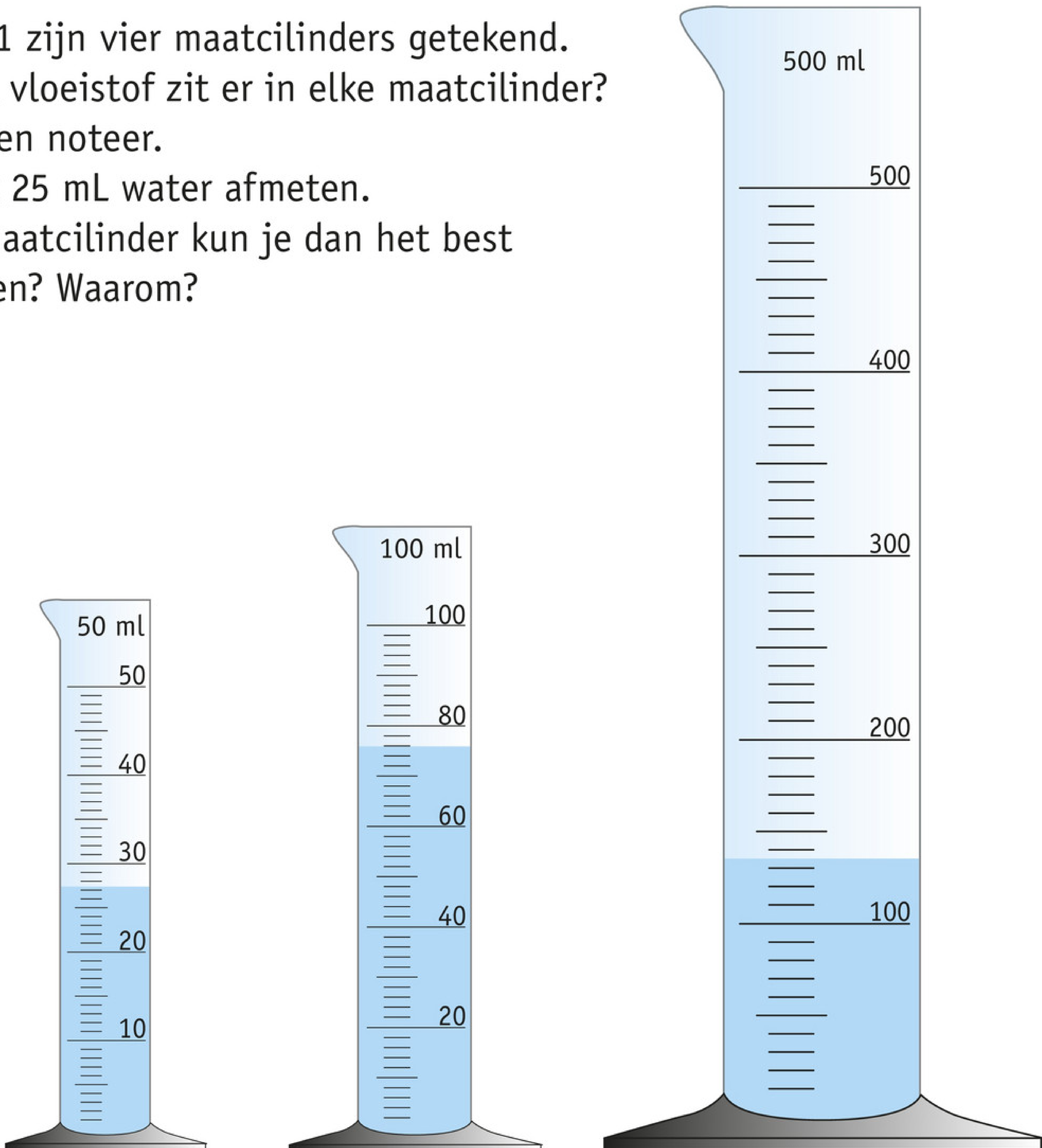
de inhoud van een	heeft een massa van
pak suiker	1000 g = … kg
pak macaroni	500 g = … kg
pak hagelslag	400 g = … kg
pakje boter	250 g = … kg
pakje cacao	100 g = … kg
busje peper	50 g = … kg

24 Zie vaardigheid 4 achter in het boek.
Neem over en vul in.

a 250 g = … kg
b 0,625 kg = … g
c 0,5 g = … mg
d 350 mg = … g
e 0,035 g = … mg
f 1,3 kg = … g
g 0,25 t = … kg
h 0,75 kg = … g
i 810 g = … kg
j 8 mg = … g

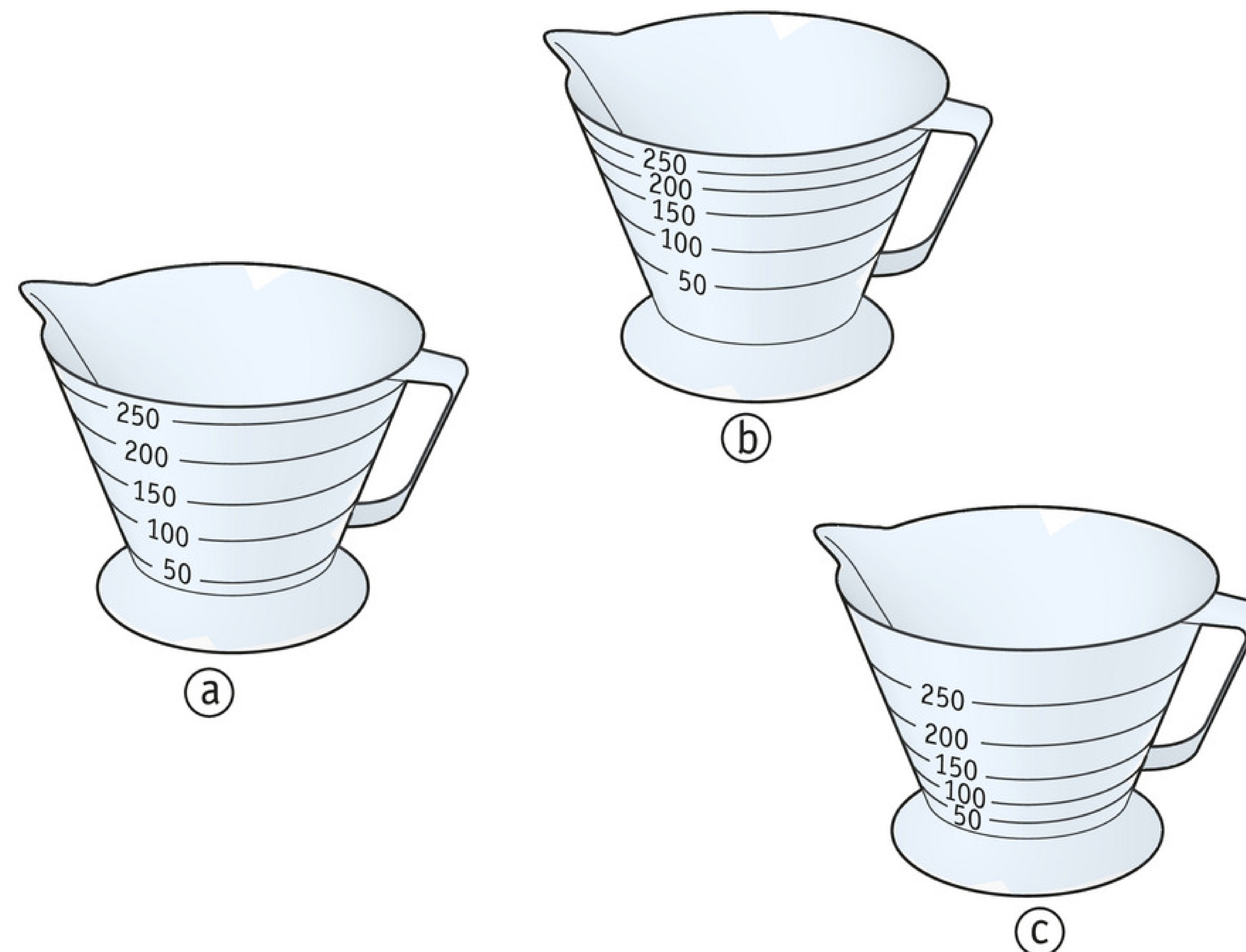
Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.

25 In figuur 21 zijn vier maatcilinders getekend.
a Hoeveel vloeistof zit er in elke maatcilinder? Lees af en noteer.
b Je moet 25 mL water afmeten. Welke maatcilinder kun je dan het best gebruiken? Waarom?



▶ **figuur 21**
Lees de drie maatcilinders af.

26 In het huishouden wordt een maatbeker gebruikt die lijkt op de maatbekers in figuur 22.
In welke tekening is de schaalverdeling op de maatbeker juist getekend? Licht je keuze toe.



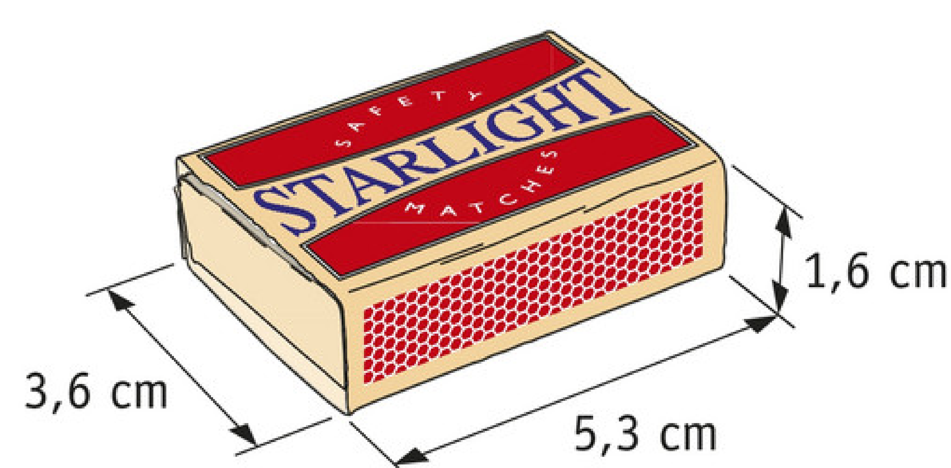
▶ **figuur 22**
Hoe ziet de schaalverdeling op een maatbeker eruit?

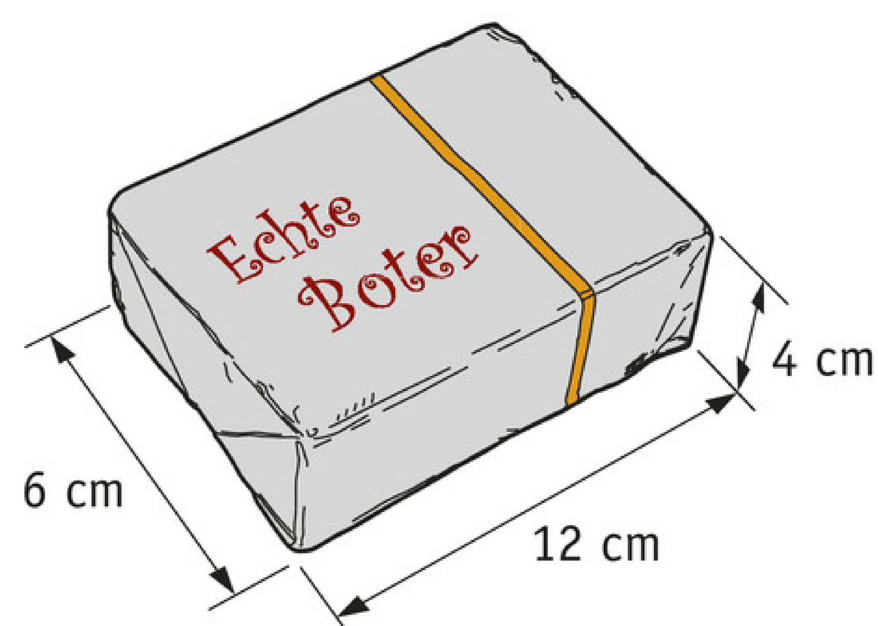
27 Bereken het volume van de voorwerpen die in figuur 23 getekend zijn. Rond de antwoorden af op een geheel getal. Schrijf steeds de hele berekening op.

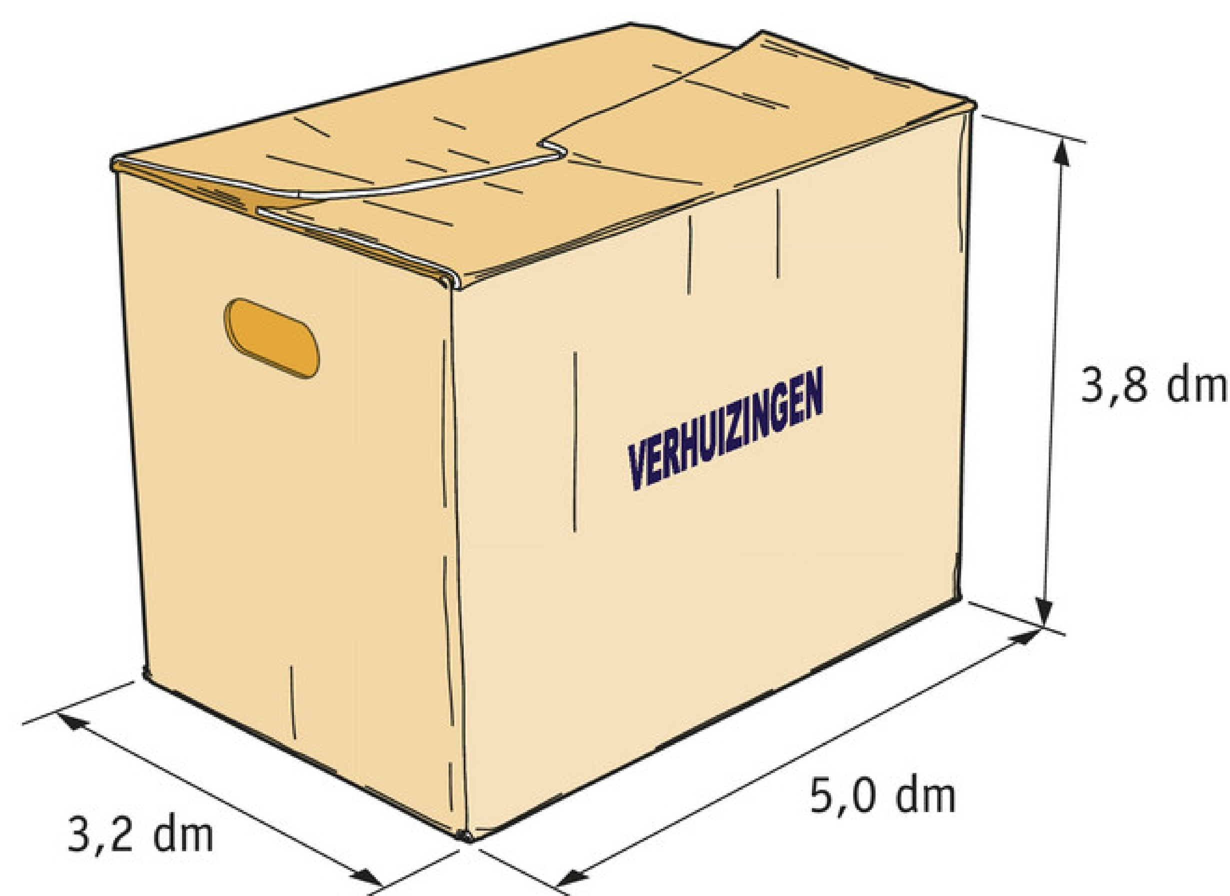
28 Neem over en vul in.

a	0,05 L = … mL	**f**	0,625 m³ = … dm³
b	250 mL = … L	**g**	440 cm³ = … dm³
c	750 cm³ = … dm³	**h**	6,5 dm³ = … L
d	0,8 dm³ = … cm³	**i**	35 mL = … L
e	10 mL = … cm³	**j**	0,5 m³ = … L

Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.

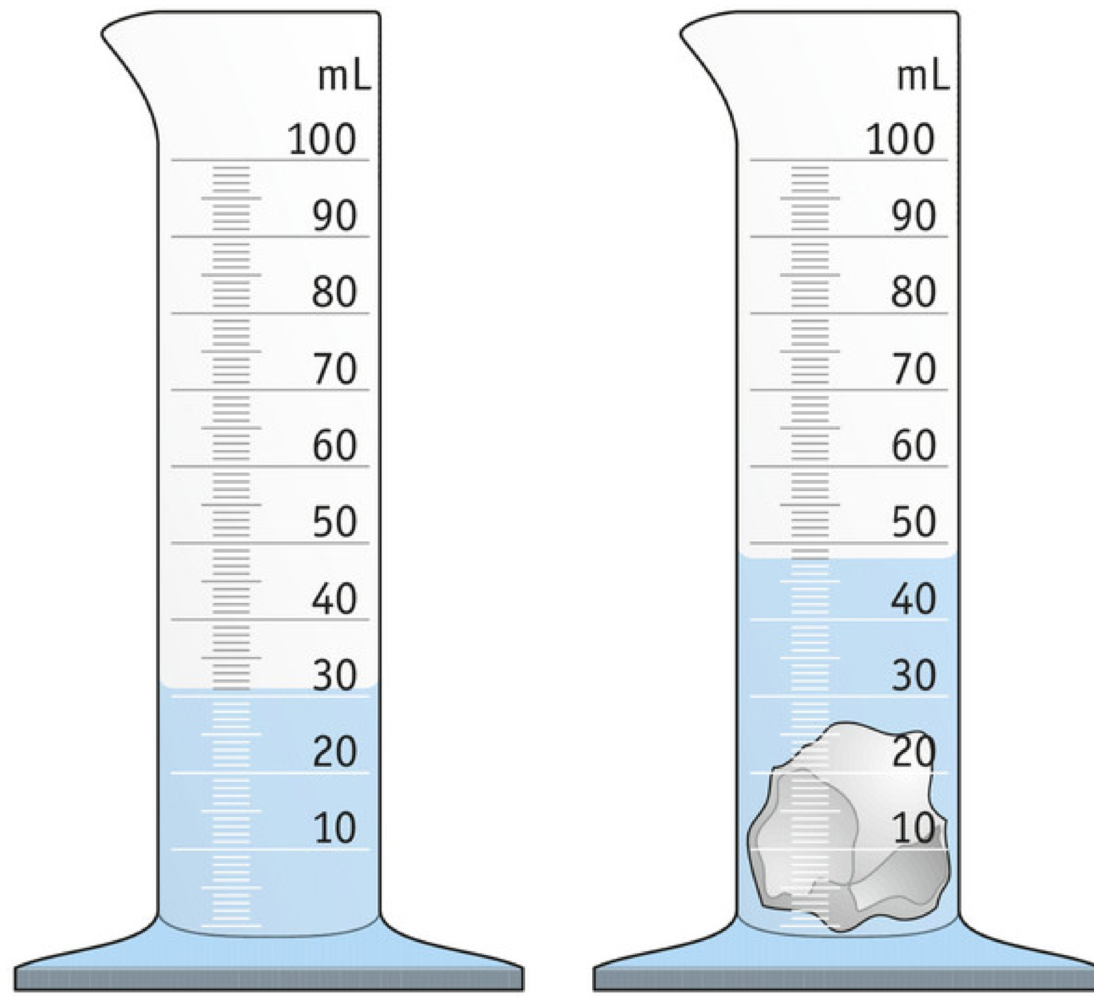








▲ **figuur 23**
Hoe groot is het volume van deze voorwerpen?



▲ **figuur 24**
Hoe groot is het volume van de steen?

29 Bepaal met behulp van de tekeningen in figuur 24 het volume van de steen. Schrijf de volledige berekening op.

30 Je zou de onderdompelmethode ook andersom kunnen uitvoeren: eerst de eindstand bepalen, dan het voorwerp eruit halen en dan de beginstand bepalen.
Leg uit waarom dat geen goede manier is.

31 Hout drijft op water.
Hoe kun je met de onderdompelmethode toch het volume bepalen van een blokje hout? Schrijf twee manieren op.

32 Een bepaald pijnstillend geneesmiddel bevat 200 mg werkzame stof per tablet. In de bijsluiter staat dat je per dag maximaal 1,5 g werkzame stof mag innemen.
Bereken hoeveel tabletten je per dag mag slikken.

***33** Een krantenkop boven een weerbericht luidde: “80 millimeter regen in twee dagen!”
Bereken hoeveel liter water er in die periode in een tuin van 6 bij 20 m is terechtgekomen. Schrijf de volledige berekening op.

Plus De samenstelling van mengsels

34 Azijn is een oplossing van azijnzuur in water. In de Nederlandse warenwet staat dat een vloeistof alleen als azijn verkocht mag worden, als er minstens 4 g azijnzuur per 100 mL vloeistof in zit.
- **a** Hoe groot moet de concentratie azijnzuur dus op zijn minst zijn (in g/L)?
- **b** In een recept voor mayonaise staat dat je twee eetlepels azijn moet toevoegen. Een eetlepel heeft een inhoud van 15 mL.
  Bereken hoeveel milligram azijnzuur twee eetlepels azijn op zijn minst bevatten.

35 Een borrelglas sterkedrank bevat evenveel alcohol als een glas bier. Het bierglas heeft een inhoud van 250 mL. De sterkedrank bevat 35 vol% alcohol, het bier 5 vol% alcohol.
Bereken de inhoud van het borrelglas.

4 Dichtheid

Mensen zeggen vaak dat de ene stof zwaarder of lichter is dan de andere. Als iemand vraagt: "Waarom worden velgen vaak van aluminium gemaakt?" zeggen ze zoiets als: "omdat aluminium een heel licht metaal is" of: "omdat aluminium veel lichter is dan staal".



▲ **figuur 25**
drie blokjes van 1 cm³: perspex (1,2 g), aluminium (2,7 g) en messing (8,5 g)

Lichte en zware stoffen

Hoe kun je nagaan dat aluminium lichter is dan staal? Daarvoor moet je de twee stoffen 'eerlijk' met elkaar vergelijken. Je kunt niet zomaar een aluminium en een stalen voorwerp wegen: een aluminium fietsframe kan best zwaarder zijn dan een stalen fietsstuur.

Een eerlijke vergelijkingsmethode werkt als volgt:
1 Neem van elke stof een blokje van 1 cm³.
2 Bepaal de massa van elk blokje met een weegschaal.
3 Het blokje met de kleinste massa is gemaakt van de 'lichtste' stof.

Een aluminium blokje van 1 cm³ heeft een massa van 2,7 g. Een stalen blokje van 1 cm³ heeft een massa van 7,9 g. Aluminium is dus ongeveer drie zo zo licht als staal.

De dichtheid van een stof

Een blokje aluminium van 1 cm³ heeft altijd een massa van 2,7 g. Dat is een eigenschap van de stof aluminium: je hebt altijd 2,7 g massa in een volume van 1 cm³. Deze eigenschap is zo belangrijk dat er een apart woord voor bedacht is: de **dichtheid**. Je zegt: de dichtheid van aluminium is 2,7 gram per kubieke centimeter (g/cm³).



▶ **figuur 26**
Ladders worden vaak van aluminium gemaakt.

Dichtheid is een stofeigenschap: elke stof heeft zijn eigen dichtheid. Omgekeerd geldt: als je de dichtheid van een stof kent, helpt dat erachter te komen om welke stof het gaat (en om welke stof zeker niet). De dichtheid is één van de eigenschappen waaraan je een stof kunt herkennen.

In tabel 2 kun je de dichtheid van een aantal stoffen opzoeken. Je ziet dan onder andere dat metalen een heel verschillende dichtheid hebben. Aluminium is een licht metaal met een dichtheid van 2,7 g/cm³. Goud is meer dan zeven keer zo zwaar, met een dichtheid van 19,3 g/cm³. Het is dus gemakkelijk om goud en aluminium op grond van hun dichtheid uit elkaar te houden.

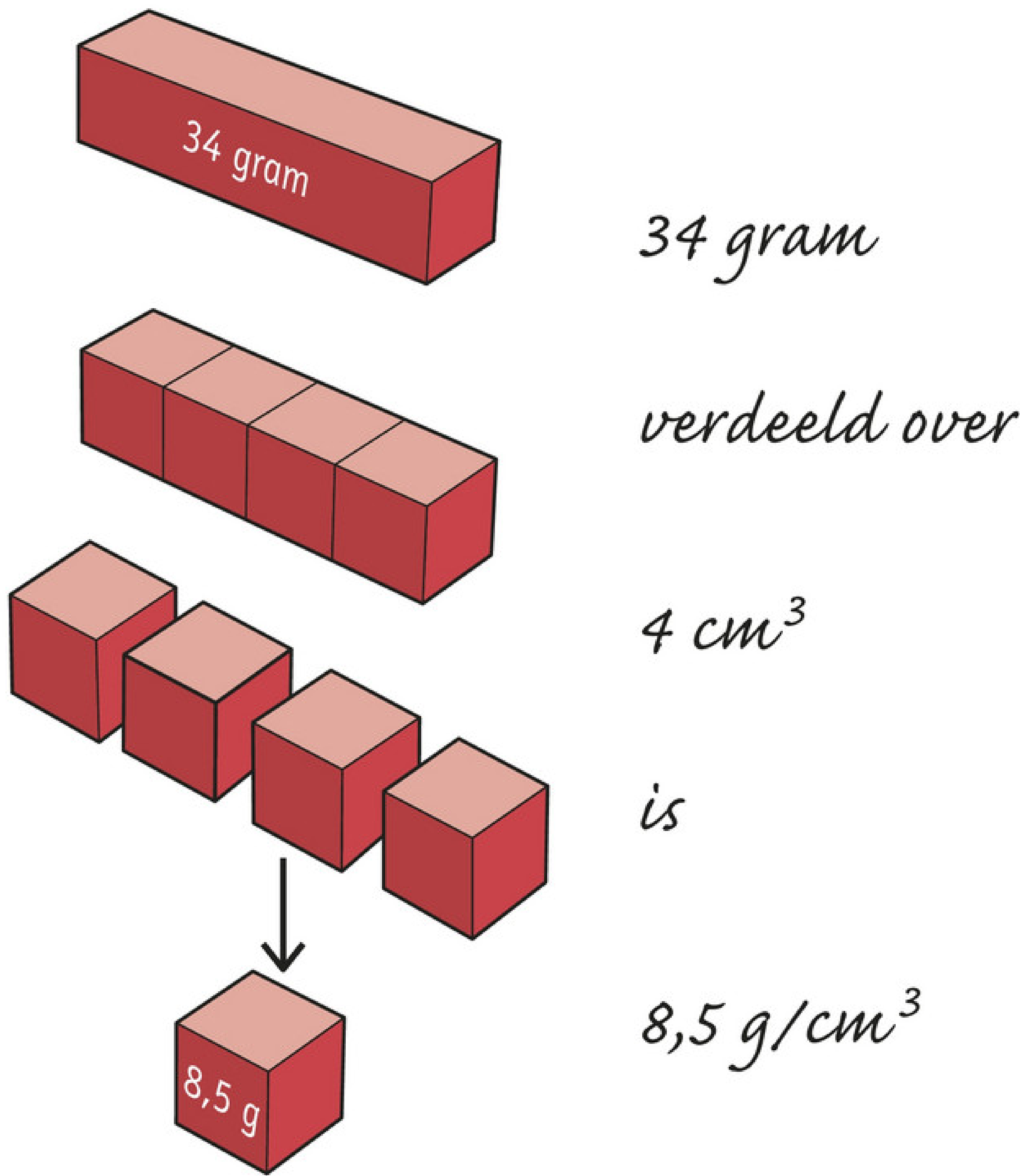
▼ **tabel 2** dichtheid van enkele stoffen

stof	dichtheid (g/cm³)	stof	dichtheid (g/cm³)
alcohol	0,80	lood	11,3
aluminium	2,7	messing	8,5
benzine	0,72	perspex	1,2
glas	2,6	staal	7,8
goud	19,3	suiker	1,6
ijs	0,92	terpentine	0,84
ijzer	7,9	vurenhout	0,58
keukenzout	2,2	water	1,0
koper	8,96	zilver	10,5
kwik	13,5	zink	7,2

De dichtheid bepalen Proef 7 en 8

Om de dichtheid te bepalen heb je niet per se een voorwerp van 1 cm³ nodig. Met een groter voorwerp lukt het ook. Je kunt zo'n voorwerp in gedachten in stukjes van 1 cm³ verdelen. De vraag is dan: hoe groot is de massa van één stukje van 1 cm³?

In figuur 27 is een staafje messing van 34 g getekend. Je kunt dit staafje in gedachten verdelen in vier blokjes van 1 cm³. Als je 34 g verdeelt over vier blokjes, krijgt elk blokje 34 : 4 = 8,5 g. De dichtheid van messing is dus 8,5 g/cm³.



◀ **figuur 27**
Zo kun je de dichtheid berekenen.

Dit is een methode die altijd werkt: deel de massa (in g) door het volume (in cm³) en je vindt de dichtheid in g/cm³. Je kunt dat ook in formulevorm opschrijven:

$$\text{dichtheid} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

Of in symbolen:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Het symbool voor dichtheid is de Griekse letter ρ (rho, spreek uit: 'roo').

Voorbeeldopgave 2
Miranda heeft een goudkleurige armband met een massa van 78 g en een volume van 5,0 cm³ (figuur 28).
Ga met een berekening na of deze armband van zuiver goud gemaakt zou kunnen zijn.

gegevens m = 78 g
V = 5,0 cm³

gevraagd ρ = ?

uitwerking $\rho = \frac{m}{V} = \frac{78}{5,0} = 15,6\ \text{g/cm}^3$

De armband kan dus niet van zuiver goud gemaakt zijn, dat een dichtheid heeft van 19,3 g/cm³ (zie tabel 2). De armband zou wel voor een groot deel uit goud kunnen bestaan.



◀ **figuur 28**
Een mooie armband ... maar is hij wel van goud?

Plus Drijven en zinken

Olijfolie en water mengen niet goed met elkaar. Als je olijfolie en water bij elkaar doet en flink schudt, ontstaat er wel even een mengsel. Maar de twee vloeistoffen ontmengen weer snel. Het mengsel splitst zich in een laag olijfolie en een laag water: de olijfolie bovenaan, het water onderaan.

Bij dit soort proeven komt de vloeistof met de kleinste dichtheid altijd bovenaan terecht. Omdat deze vloeistof het lichtst is, drijft hij op de andere vloeistof. De dichtheid van olijfolie is 0,92 g/cm³, de dichtheid van water 1,0 g/cm³. Daarom drijft olijfolie op water, en niet omgekeerd.

Je kunt op dezelfde manier voorspellen of een massief voorwerp (een voorwerp zonder holle ruimtes) drijft of zinkt. Een voorwerp van vurenhout drijft in water, omdat vurenhout (ρ = 0,58 g/cm³) een kleinere dichtheid heeft dan water (ρ = 1,0 g/cm³). Een voorwerp van perspex (ρ = 1,2 g/cm³) zal in water juist zinken.

opgaven **Leerstof**

36 Zie vaardigheid 2 achter in het boek.
Neem tabel 3 over en vul de ontbrekende woorden en symbolen in.

▼ **tabel 3** grootheden en eenheden

grootheid	symbool	eenheid	symbool
lengte		meter	
	m		kg
		liter	
		gram per kubieke centimeter	

37 Stel je voor: je docent geeft je de opdracht om de dichtheid van messing te bepalen. Je krijgt een rechthoekig blokje van messing om daarmee te werken.
a Welke twee grootheden ga je om te beginnen meten?
b Welke meetinstrumenten heb je daarvoor nodig?
c Met welke formule bereken je daarna de dichtheid?
d Welke eenheid zet je ten slotte achter de uitkomst?

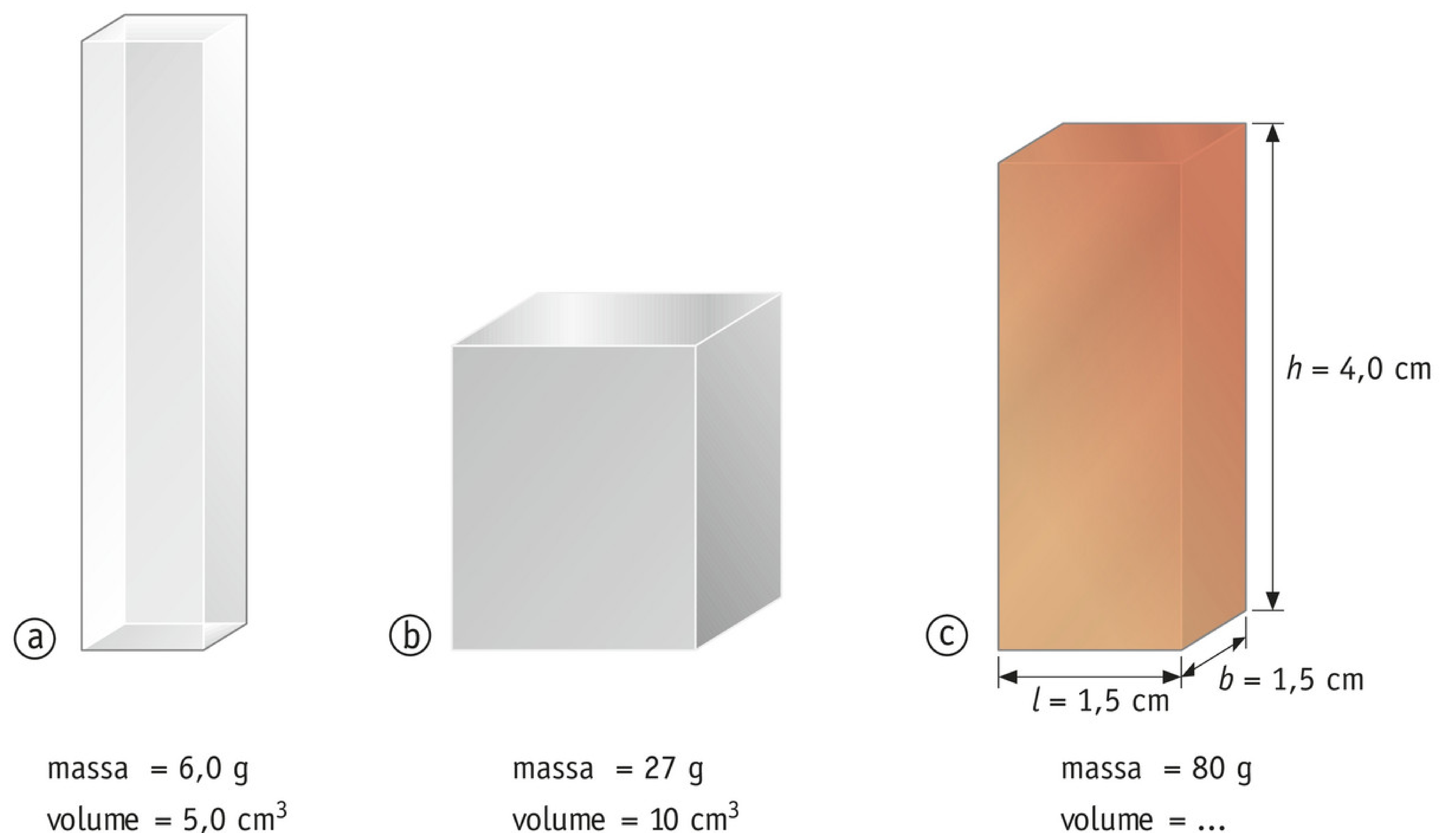
38 Zet de metalen in tabel 2 op volgorde van de dichtheid.
Welk metaal van de metalen op deze lijst heeft:
a de grootste dichtheid?
b de kleinste dichtheid?
c de 'middelste dichtheid'?

Toepassing

39 In figuur 29 zijn drie blokjes getekend die van een zuivere stof zijn gemaakt.

a Bereken de dichtheid van de stoffen waarvan deze voorwerpen gemaakt zijn, op één cijfer achter de komma. Schrijf alle berekeningen op.

b Noteer van elk voorwerp van welke stof het gemaakt zou kunnen zijn. Gebruik tabel 2.

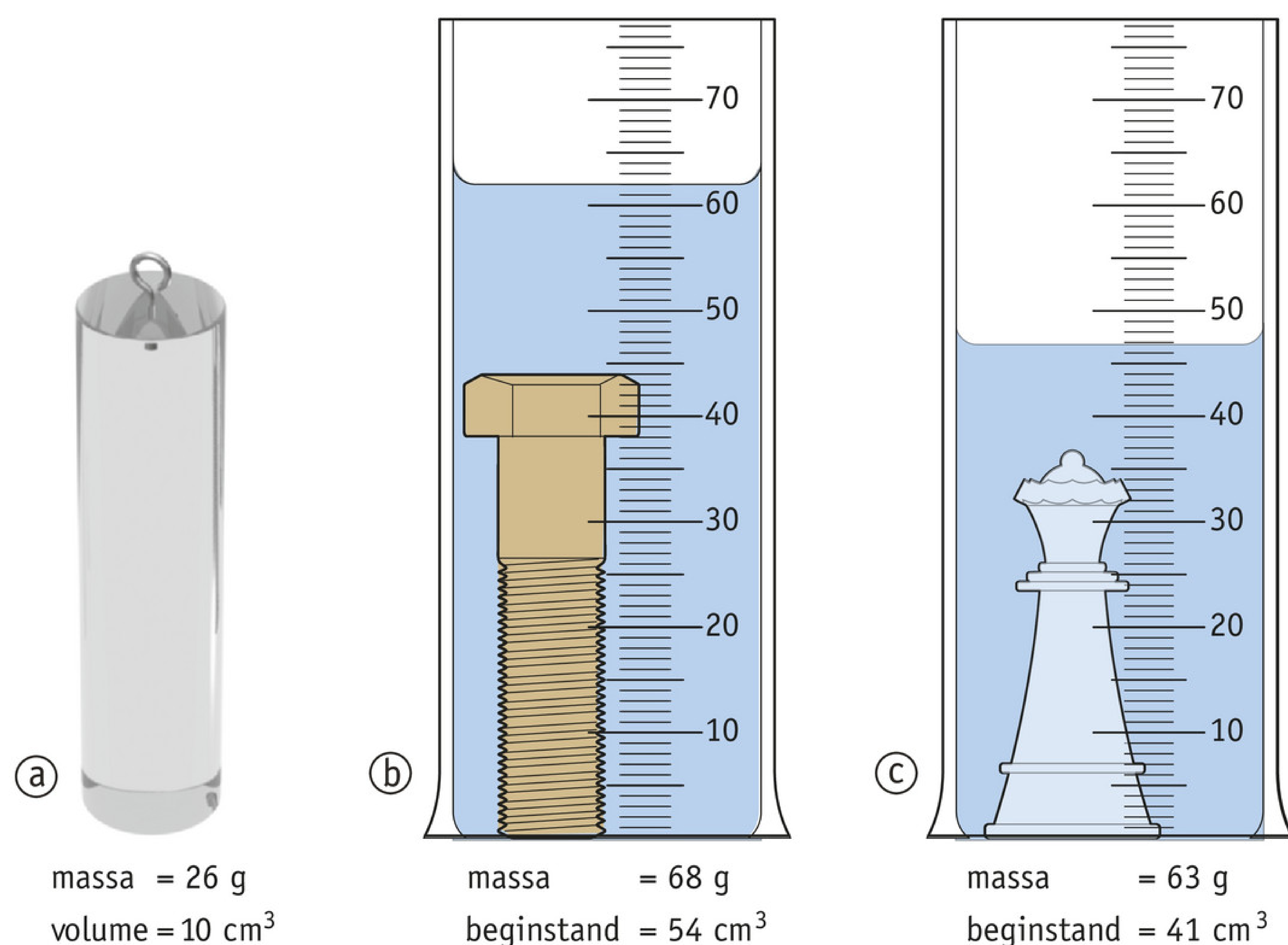


▶ **figuur 29**
drie rechthoekige voorwerpen

40 In figuur 30 zijn nog eens drie voorwerpen getekend.

a Bereken de dichtheid van de stoffen waarvan deze voorwerpen gemaakt zijn, op één cijfer achter de komma. Schrijf de hele berekening op.

b Noteer van elk voorwerp van welke stof het gemaakt zou kunnen zijn. Gebruik tabel 2.



▶ **figuur 30**
een cilinder en twee voorwerpen met een onregelmatige vorm

▼ **tabel 4** volume en massa

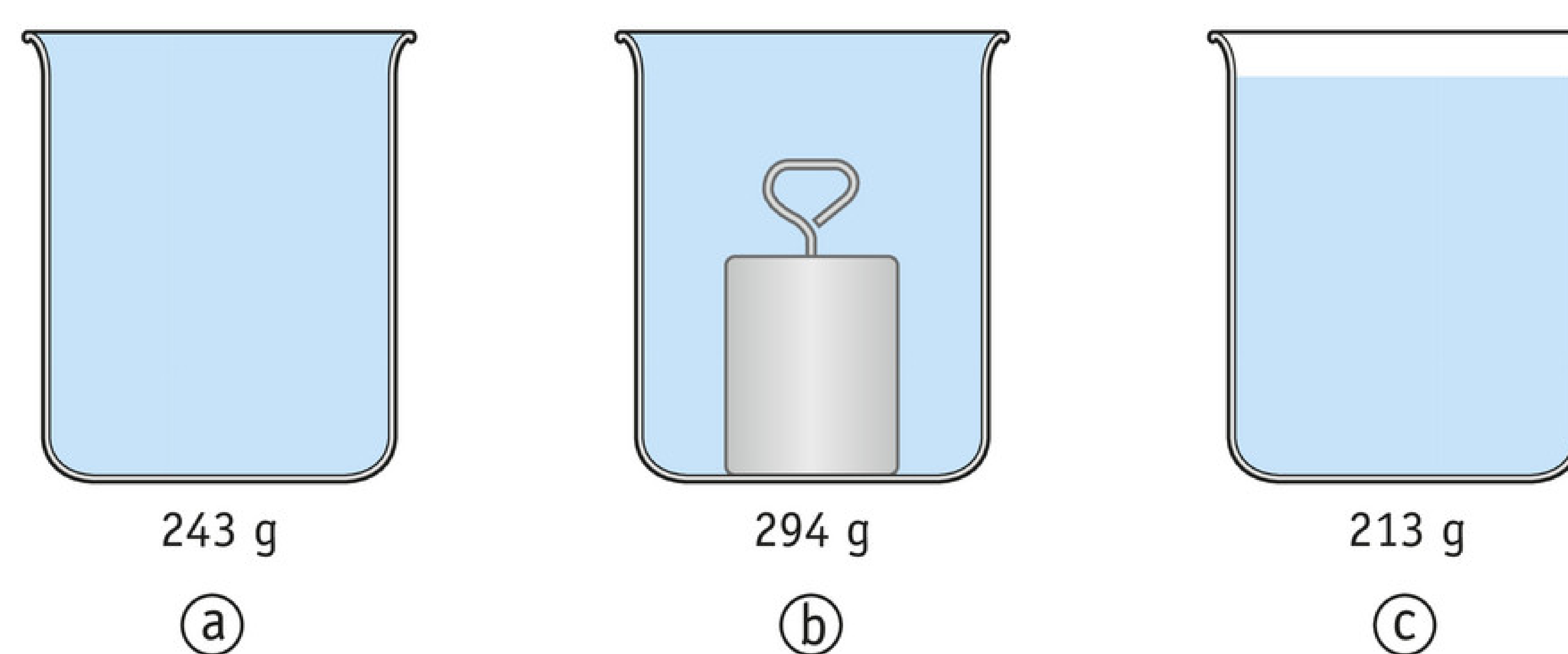
volume (cm^3)	massa (g)
9,5	75,0
6,8	48,3
7,2	56,8
4,5	35,5

41 Mitchell heeft van vier voorwerpen de massa en het volume gemeten. Zijn meetresultaten heeft hij in tabel 4 gezet.
- **a** Welke drie voorwerpen zouden van dezelfde stof gemaakt kunnen zijn?
- **b** Bereken hoe groot de dichtheid van deze stof is.
- **c** Om welke stof zou het kunnen gaan?

42 Op een schap in een supermarkt staan grote en kleine flessen met koffiemelk.
- Op de grote flessen staat: 1000 g | 930 mL
- Op de kleine flessen staat: 500 g | 465 mL
- **a** Leg uit hoe je aan deze getallen kunt zien dat de twee soorten flessen met dezelfde vloeistof gevuld zijn.
- **b** Beredeneer welk volume de fabrikant op een fles met 200 g koffiemelk zou moeten zetten.

***43** Op een keukenmaatbeker staat een maatverdeling in gram voor meel en suiker. Hiermee kun je hoeveelheden van deze ingrediënten afmeten zonder dat je een weegschaal nodig hebt.
Het streepje voor 300 g meel staat lager dan het streepje voor 300 g suiker.
Leg uit welke van beide ingrediënten de kleinste (gemiddelde) dichtheid heeft.

***44** Een bekerglas, geheel gevuld met water, heeft een massa van 243 g (figuur 31a). Theo laat er een metalen blokje aan een dun draadje in zakken (figuur 31b) en meet opnieuw de massa van het bekerglas: 294 g. Ten slotte haalt hij het blokje er weer uit en meet opnieuw de massa van het bekerglas en het resterende water: 213 g (figuur 31c).
Bereken uit deze gegevens de dichtheid van het metaal. Rond af op één cijfer achter de komma.



▶ **figuur 31**
Hoe groot is de dichtheid van het metaal?

Plus Drijven en zinken

45 Voorspel met behulp van tabel 2:
- **a** of benzine op water blijft drijven of naar de bodem zinkt.
- **b** of een ijsblokje in alcohol zal zinken of juist blijft drijven.
- **c** of een stalen spijker in kwik zal zinken of juist blijft drijven.

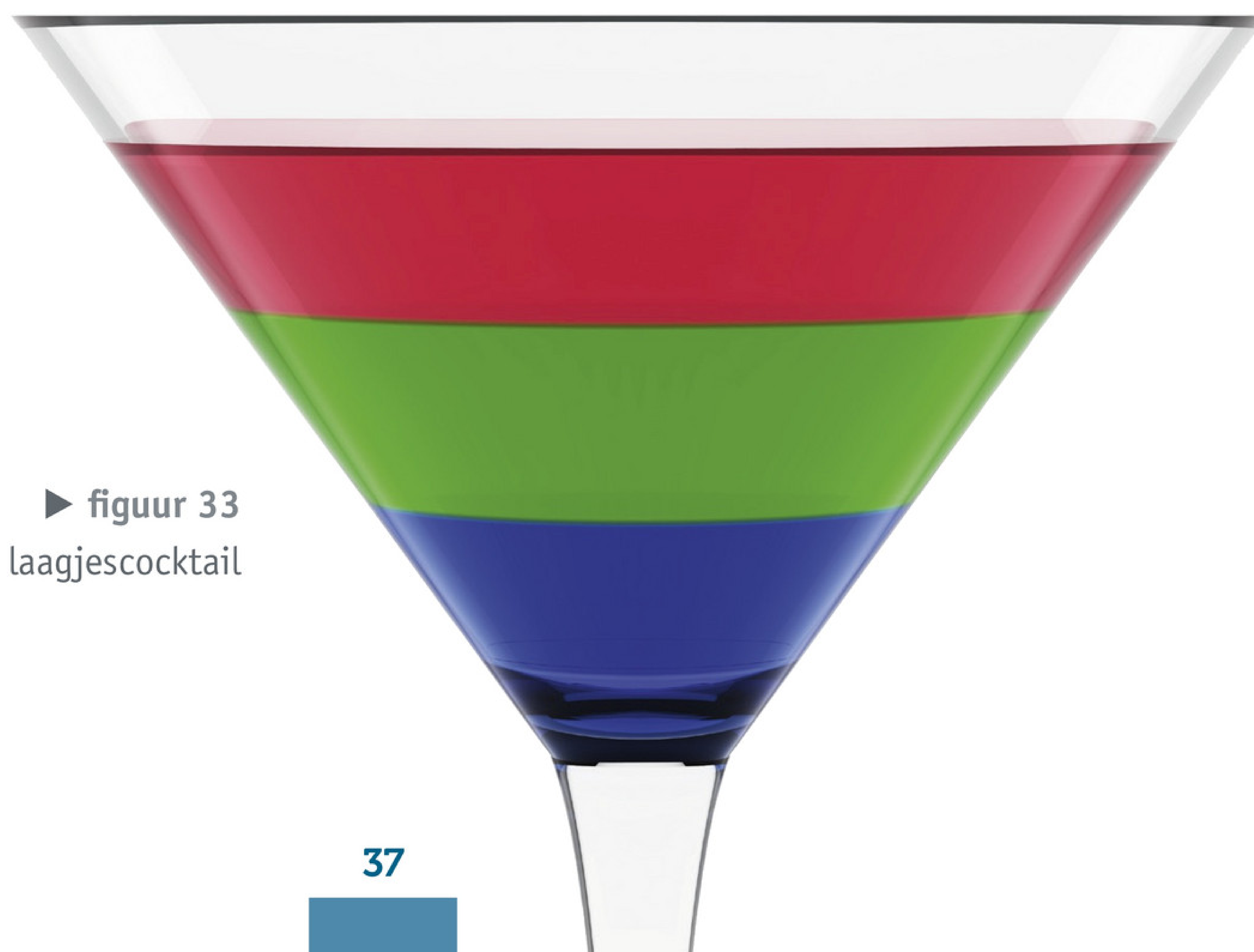


▶ **figuur 32**
drijven in de Dode Zee

46 Het water van de Dode Zee is erg zout. Als gevolg daarvan blijf je gemakkelijk in het water drijven (figuur 32).
Wat kun je hieruit afleiden over de dichtheid van zout water, vergeleken met zoet water?

47 Een laagjescocktail bestaat uit verschillende drankjes die voorzichtig boven op elkaar worden gegoten (figuur 33).

a In welke volgorde moeten de drankjes in het glas gedaan worden?
b Waarom moet elk drankje heel voorzichtig ingeschonken worden?
c De drankjes bestaan voornamelijk uit water, alcohol en suiker.
Waar vind je een drankje met weinig suiker en veel alcohol?
A Boven in het glas.
B Onder in het glas.
C Daar kun je niets over zeggen.
d Leg uit hoe je aan je antwoord bij c gekomen bent.



▶ **figuur 33**
een laagjescocktail

Practicum

Proef 1 Stoffen van elkaar onderscheiden 30 min

Inleiding
Als de politie een inval doet in een drugslaboratorium, worden daar vaak verschillende stoffen gevonden. Om uit te zoeken wat voor stoffen dat zijn, heeft de politie een speciale afdeling met onderzoekers.
Jij gaat in deze proef net zoiets doen, maar met ongevaarlijke stoffen. Je krijgt zestien potjes met stoffen, zonder te weten welke stoffen het zijn. Je moet met behulp van de stofeigenschappen zo veel mogelijk stoffen proberen te herkennen.

Doel
Bij deze proef leer je om stoffen te herkennen aan hun stofeigenschappen.

Nodig
- zestien stoffen in flesjes

Uitvoeren en uitwerken
– Je krijgt zestien flesjes. Je mag de flesjes openmaken om te ruiken. Je mag de stoffen beslist niet proeven!

1 Neem tabel 5 over in je schrift en vul deze verder in. Noteer:
a de kleur van de stof.
b de geur van de stof.
c of de stof vast, vloeibaar of gasvormig is.
d andere bijzonderheden.
e de naam van de stof (als je die weet).

2 Bekijk de gegevens in de tabel.
a Welke stoffen zijn vast?
b Welke stoffen zijn vloeibaar?
c Welke stoffen zijn gasvormig?
d Welke stoffen zijn metalen?
e Welke stoffen zijn doorzichtig?

▼ **tabel 5** zestien stoffen en hun eigenschappen

nummer	kleur	geur	vast/ vloeibaar/ gasvormig	bijzonderheden	naam
1					
2					
3					
enz.					

Proef 2 Oplossingen en suspensies onderzoeken 15 min

Inleiding
In het dagelijks leven kom je verschillende soorten mengsels tegen. Thee en cola zijn voorbeelden van oplossingen. Sinaasappelsap en verf zijn voorbeelden van suspensies.

Doel
Bij deze proef leer je twee verschillen kennen tussen een oplossing en een suspensie.

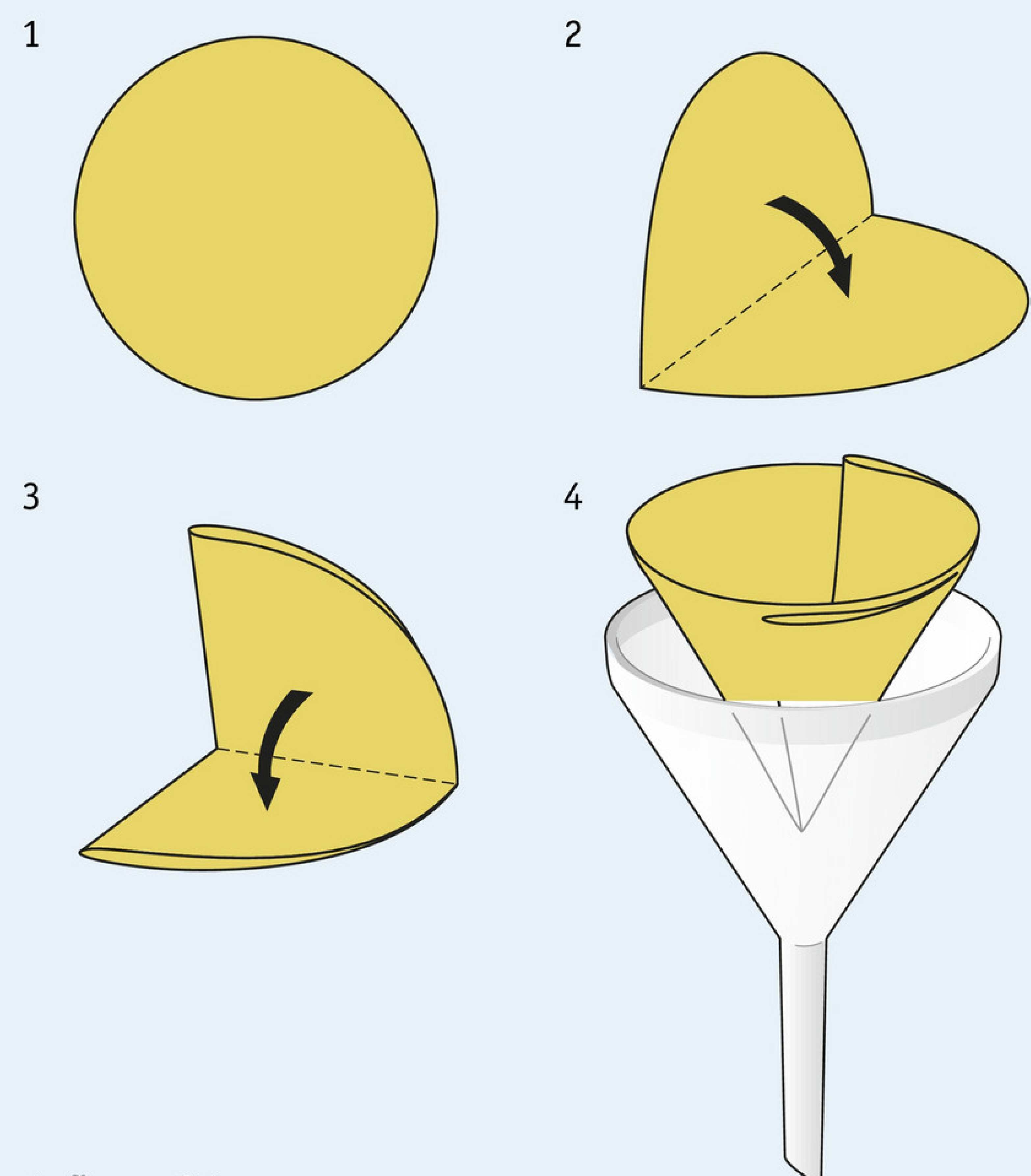
Nodig
- reageerbuis met water + inkt
- reageerbuis met water + koolstof
- twee (lege) reageerbuizen
- twee trechters
- twee filtreerpapiertjes

Uitvoeren en uitwerken
- Schud de reageerbuis met water + inkt. Kijk direct daarna of je door het mengsel heen kunt kijken.
- Schud de reageerbuis met water + koolstof. Kijk direct daarna of je door het mengsel heen kunt kijken.

1 Kun je door de verdunde blauwe inkt heen kijken?
2 Heb je hier te maken met een oplossing of een suspensie?
3 Kun je door het mengsel van koolstof en water heen kijken?
4 Heb je hier te maken met een oplossing of een suspensie?

- Vouw de filtreerpapiertjes zoals in figuur 34 en doe ze in de trechters.
- Maak de filters vochtig, dan blijven ze beter in de trechters zitten.
- Zet de trechters in de lege reageerbuizen.
- Schud het mengsel van water + inkt en giet het voorzichtig in het ene filter.
- Schud het mengsel van water + koolstof en giet het voorzichtig in het andere filter.
- Kijk goed wat er gebeurt.
- Wacht tot er niets meer uit de filters lekt.

5 Hoe zien de vloeistoffen in de opvangbuizen eruit?
6 In welk van de filters is een vaste stof achtergebleven?
7 Welke stof(fen) is (zijn) dat?
8 Welke stof(fen) is (zijn) zeker door het filter gegaan bij het mengsel van water + inkt?
9 Welke stof(fen) is (zijn) zeker door het filter gegaan bij het mengsel van water + koolstof?



▲ **figuur 34**
Zo vouw je een filter.

Proef 3 Werken met een brander 30 min

Inleiding
Bij proeven op school gebruik je vaak een gasbrander om iets te verwarmen. Met zo'n brander moet je altijd voorzichtig werken.

Houd je aan de veiligheidsvoorschriften die je docent met je heeft besproken.

Doel
Bij deze proef leer je welke eigenschappen een gasvlam heeft en hoe je met een brander moet werken. Zie vaardigheid 6 achter in het boek.

Nodig
- gasbrander
- gaasje
- houten reageerbuishouder
- lucifers/aansteker
- werkblad 2-1

Uitvoeren en uitwerken
– Controleer of de gasregelknop en de luchtregelknop van de gasbrander dichtzitten (figuur 35).
– Draai de gaskraan op je tafel open.
– Houd een brandende lucifer boven de brander en draai de gasregelknop een eindje open.

1 Welke kleur heeft de vlam van de brander?

– Draai de luchtregelknop een klein eindje open.

2 Wat gebeurt er met de kleur van de vlam?

– Draai de luchtregelknop nu een flink eind open.

3 Wat gebeurt er met de kleur van de vlam?
4 Wat hoor je?

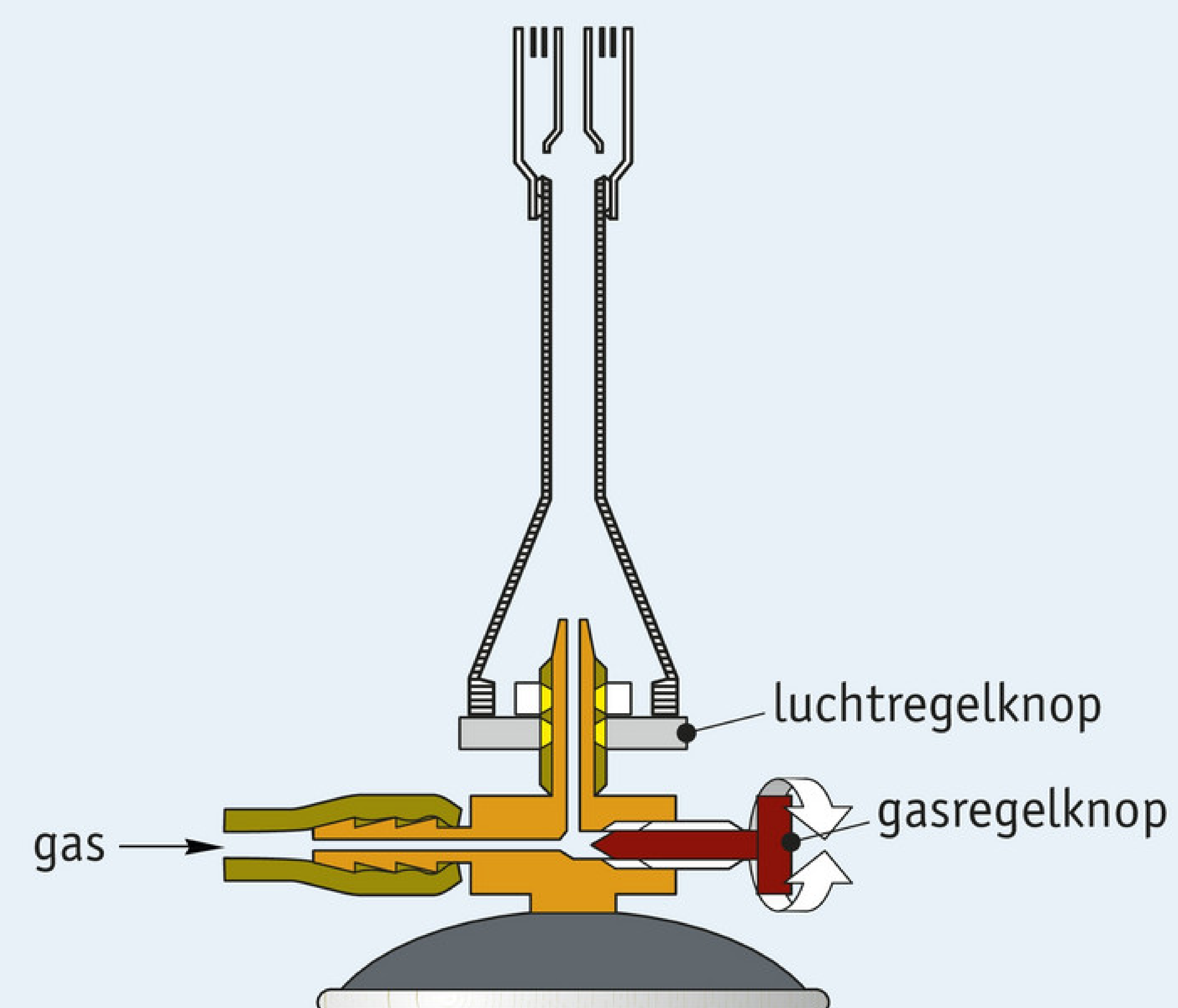
– Houd het gaasje verticaal in de vlam (zie het werkblad, tekening a).

5 Teken en kleur op het werkblad wat je ziet.

– Houd het gaasje horizontaal in de vlam (zie het werkblad, tekening b):
  a eerst dertig seconden in de blauwe kern van de vlam;
  b daarna dertig seconden vlak boven de blauwe kern van de vlam;
  c ten slotte dertig seconden boven in de vlam.

6 Teken en kleur op het werkblad wat je ziet.
7 Op welke plaats is de vlam het heetst? Waaraan zie je dat?

– Draai de luchtregelknop dicht.
– Draai de gasregelknop dicht.
– Draai de gaskraan op je tafel dicht.



▲ **figuur 35**
de gasbrander

Proef 4 Steenzout winnen 30 min

Inleiding
Steenzout wordt gewonnen door heet water in de bodem te pompen. Diep in de bodem ontstaat dan een mengsel van water en steenzout, dat pekel genoemd wordt. De pekel wordt daarna omhoog gepompt, waarna het zout uit de pekel wordt gehaald.

Doel
Bij deze proef ga je pekel verwarmen totdat er steenzout overblijft.

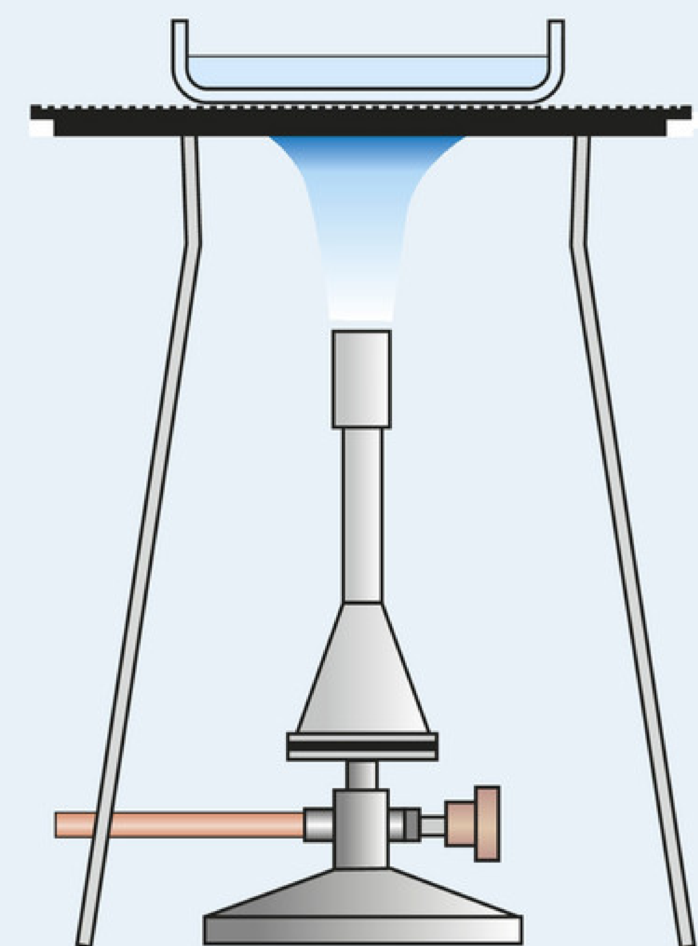
Nodig
- steenzout
- gedestilleerd water
- bekerglas
- roerstaafje
- reageerbuis
- trechter
- filtreerpapier
- porseleinen/stalen kroesje
- brander
- driepoot
- gaasje
- lucifers/aansteker

Uitvoeren en uitwerken
Oplossen en filtreren
- Doe een paar schepjes steenzout in het bekerglas.
- Voeg aan het steenzout een beetje warm water toe en roer goed.
- Filtreer de vloeistof en vang het filtraat op in een reageerbuis.

Indampen
- Leg het gaasje op de driepoot. Zet het kroesje op het gaasje.
- Giet een beetje van de vloeistof uit de reageerbuis in het kroesje.
- Laat de gasbrander branden met een kleine kleurloze vlam (figuur 36).
- Verwarm de vloeistof in het kroesje tot al het water is verdampt.

NB Haal de brander onder het gaasje vandaan als de vloeistof te veel spettert. Maak de vlam kleiner door de gasregelknop een eindje dicht te draaien. Schuif de brander daarna weer onder het gaasje.

1 Blijft er na het filtreren een vaste stof achter in het filter?
2 Beschrijf de inhoud van het kroesje na het indampen.
3 Wat kun je zeggen over de oplosbaarheid van deze stof?



▲ **figuur 36**
de opstelling van proef 4

Proef 5 Het bepalen van volume en massa 30 min

Inleiding
Je kunt bij het bepalen van een hoeveelheid stof naar de massa kijken of naar het volume. In de supermarkt vind je bijvoorbeeld pakken met 1 L melk, maar ook pakken met 1 kg suiker. Ook in recepten worden volume- en massa-eenheden vaak door elkaar gebruikt. Dan staat er bijvoorbeeld: “Voeg 250 g champignons en 100 mL water toe.”

Doel
Bij deze proef ga je van vier rechthoekige voorwerpen het volume en de massa bepalen.

Nodig
- vier verschillende blokjes
- liniaal of geodriehoek
- weegschaal

Uitvoeren en uitwerken
1 Neem tabel 6 over in je schrift.
Noteer in kolom 1 van welk materiaal elk blokje gemaakt is.

– Meet hoe lang de zijden van de blokjes zijn (in centimeter).

2 Zet je meetgegevens in de tabel.

3 Bereken het volume van elk blokje met de formule $V = l \cdot b \cdot h$.
Rond het antwoord af op een geheel getal en noteer dit in kolom 5.

– Bepaal de massa van elk blokje met de weegschaal.

4 Noteer de massa van de blokjes in de laatste kolom van de tabel.

▼ **tabel 6** de meetresultaten van proef 5

voorwerp	lengte	breedte	hoogte	volume	massa
1					
2					
3					
4					

Proef 6 Werken met de onderdompelmethode 15 min

Inleiding
Het volume van onregelmatig gevormde voorwerpen kun je niet eenvoudig berekenen met een formule. Voor zulke voorwerpen gebruik je de onderdompelmethode.

Doel
Bij deze proef leer je hoe je het volume van twee voorwerpen bepaalt met de onderdompelmethode.

Nodig
- maatcilinder
- aluminium blokje
- kiezelsteen

Uitvoeren en uitwerken
– Vul de maatcilinder voor ongeveer twee derde met water. Lees de stand van het water af (in cm^3). Zie vaardigheid 5 achter in het boek.

1 Neem over en vul in.
De beginstand is: … cm^3.

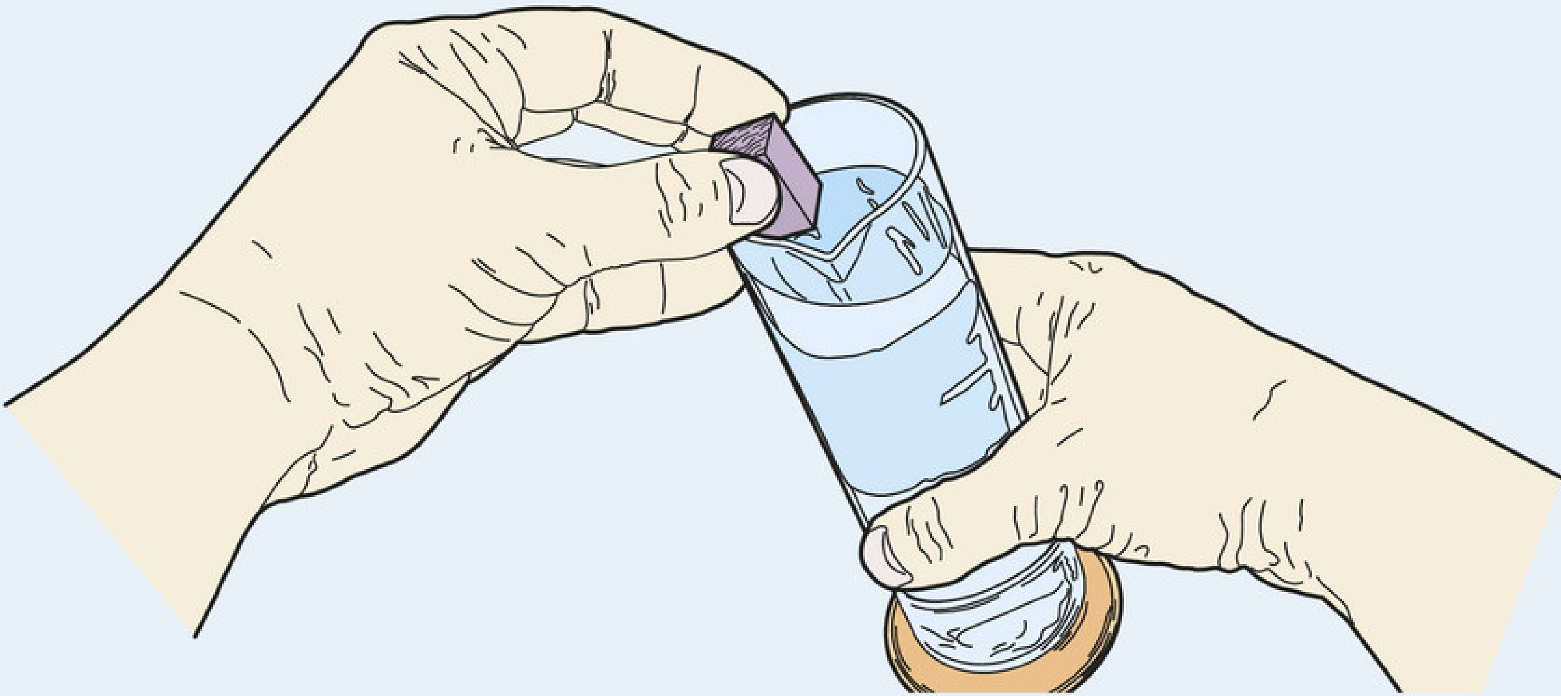
- Laat het aluminium blokje voorzichtig onder water zakken (figuur 37).
- Lees weer de stand van het water af (in cm³).

2 Neem over en vul in.
De eindstand is … cm³.

3 Hoe groot is het volume van het blokje?
Neem over en vul in.
volume blokje = eindstand – beginstand =
… – … = …

- Je gaat nu het volume bepalen van een voorwerp met een onregelmatige vorm. In dit geval is dat een kiezelsteen.

4 Neem over en vul in.
volume kiezelsteen = eindstand – beginstand =
… – … = …



▲ **figuur 37**
Houd de maatcilinder schuin, als je het blokje erin laat zakken.

Proef 7 De dichtheid bepalen 45 min

Inleiding
Onderzoekers kunnen vaak precies zeggen met welke stof ze te maken hebben, als ze de dichtheid kennen. Je kunt de dichtheid berekenen door de massa (in g) te delen door het volume (in cm³). Zo vind je de dichtheid in g/cm³.

Doel
Door de dichtheid te bepalen kun je erachter komen van welke stof een voorwerp gemaakt is. Dat ga je bij deze proef doen.

Nodig
- maatcilinder
- liniaal of geodriehoek
- weegschaal
- vijf voorwerpen

Uitvoeren en uitwerken
- Bepaal de dichtheid van de stoffen waarvan de vijf voorwerpen gemaakt zijn.

1 Neem tabel 7 over in je schrift.
Noteer je meetresultaten in de tabel.

2 Bereken de dichtheid van elk voorwerp met de formule.
Rond de uitkomsten af op één cijfer achter de komma.
Noteer de uitkomsten op de juiste plaats in de tabel.

- Vergelijk de dichtheden die je hebt gevonden met de dichtheden in tabel 2.

3 Noteer in de tabel van welke stof elk voorwerp waarschijnlijk gemaakt is.

▼ **tabel 7** de meetresultaten van proef 7

voorwerp	massa	volume	dichtheid	stof
1				
2				
3				
4				
5				

Proef 8 De dichtheid van een vloeistof 30 min

Inleiding
Je kunt de dichtheid van een vloeistof bepalen door de massa van de vloeistof te delen door het volume.

Doel
Bij deze proef ga je de dichtheid van twee vloeistoffen bepalen.

Nodig
- weegschaal
- maatcilinder
- gedestilleerd water
- spiritus

Uitvoeren en uitwerken
– Bedenk hoe je de massa en het volume van een hoeveelheid vloeistof kunt bepalen.

1 Schrijf op welke metingen en berekeningen je achtereenvolgens gaat uitvoeren.

– Bepaal de dichtheid van water en van spiritus op één cijfer achter de komma.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

Proef 9 Een onderzoek uitvoeren: zout in de polder 45 min

Inleiding
Stel je voor: bij een dijkdoorbraak is een flink stuk landbouwgrond overstroomd. Daardoor is er zout in de grond gekomen. Dat is nadelig voor de teelt van gewassen en de eigenaar van de grond lijdt er verlies door. De verzekeraar van de grondeigenaar wil een rapport hebben waarin onder meer staat vermeld hoeveel zout er in de grond terecht is gekomen. Daarvoor wordt een onderzoekslaboratorium ingehuurd. Jij bent bij deze opdracht de laborant die het onderzoek moet uitvoeren.

Doel
Bij deze proef ga je bepalen hoe groot de hoeveelheid zout in een grondmonster is. De uitkomst moet in gram zout per kilogram grond worden gerapporteerd.

Nodig
Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken
– Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Wat ga je meten, welke practicumspullen heb je nodig, hoe reken je straks de antwoorden uit?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek. Zie vaardigheid 1 achter in het boek.

– De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
– Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

– Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

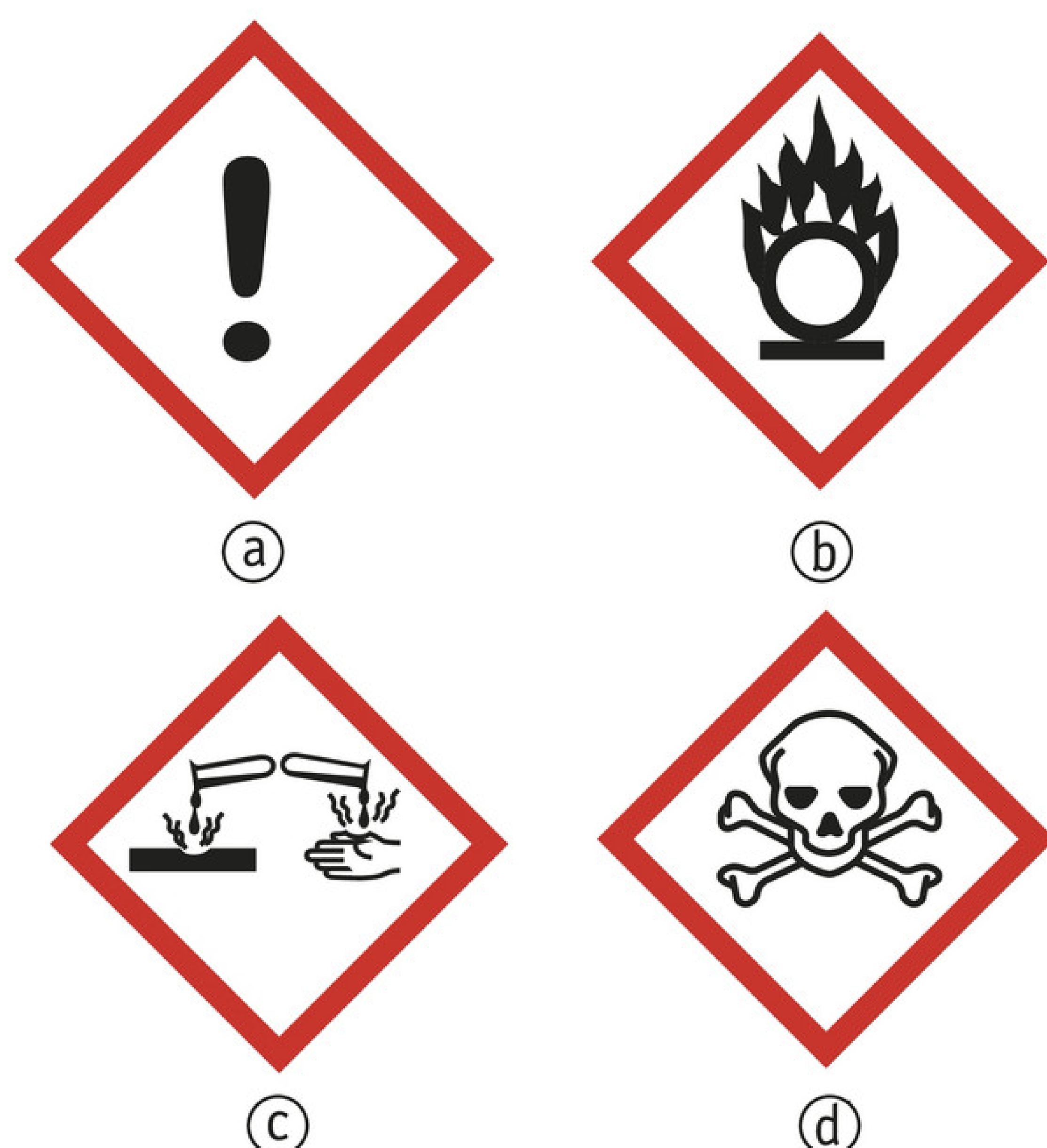
Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.

1 In een fles zit een heldere, kleurloze vloeistof met een sterke geur.
Zou het kunnen gaan om:
- **a** alcohol?
- **b** brandspiritus?
- **c** olijfolie?
- **d** suiker?
- **e** wasbenzine?
- **f** water?

2 Welke van de volgende eigenschappen zijn geen stofeigenschap?
- **a** kleur
- **b** brandbaarheid
- **c** massa
- **d** dichtheid
- **e** prijs per kilogram

3 In figuur 38 zie je vier gevarensymbolen.
Met welk gevarensymbool kun je aangeven:
- **a** dat een stof giftig is?
- **b** dat een stof corrosief is?
- **c** dat een stof brandbevorderend is?
- **d** dat een stof je ogen en huid kan irriteren?



▲ **figuur 38**
vier gevarensymbolen

4 Noteer of de volgende uitspraken waar (W) zijn of onwaar (O).
- **a** Een mengsel bestaat uit verschillende soorten moleculen.
- **b** Oplossingen zijn helder en blijven altijd perfect gemengd.
- **c** Je kunt opgeloste stoffen met een filter uit het oplosmiddel halen.
- **d** Een suspensie is troebel: je kunt er niet doorheen kijken.
- **e** Koffie, thee en frisdrank zijn voorbeelden van suspensies.
- **f** Sommige oplossingen zijn kleurloos, andere hebben een kleur.

5 Wat is het residu als je koffiezet met een koffiezetapparaat?
- A De gemalen koffie die je uit het pak in het filter schept.
- B Het hete water dat op de gemalen koffie druppelt.
- C De pas gezette koffie in de kan onder het filter.
- D Het koffiedik dat na afloop in het filter achterblijft.

6 Je kunt geur- en smaakstoffen uit plantendelen halen door ze in een geschikt oplosmiddel te leggen.
Hoe noem je deze manier om stoffen uit planten te winnen?

7 Op een geneesmiddel staat: “Goed schudden voor gebruik”.
Wat voor een soort mengsel zal dit geneesmiddel waarschijnlijk zijn?

8 Reken om:

a	0,85 g = … mg		h	175 mL = … L	
b	0,045 kg = … g		i	0,234 m³ = … dm³	
c	304 g = … kg		j	0,01 L = … mL	
d	0,750 t = … kg		k	0,35 L = … cm³	
e	625 mg = … g		l	205 cm³ = … dm³	
f	980 kg = … t		m	63 mL = … cm³	
g	0,78 dm³ = … cm³		n	400 dm³ = … m³	

 **Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.**

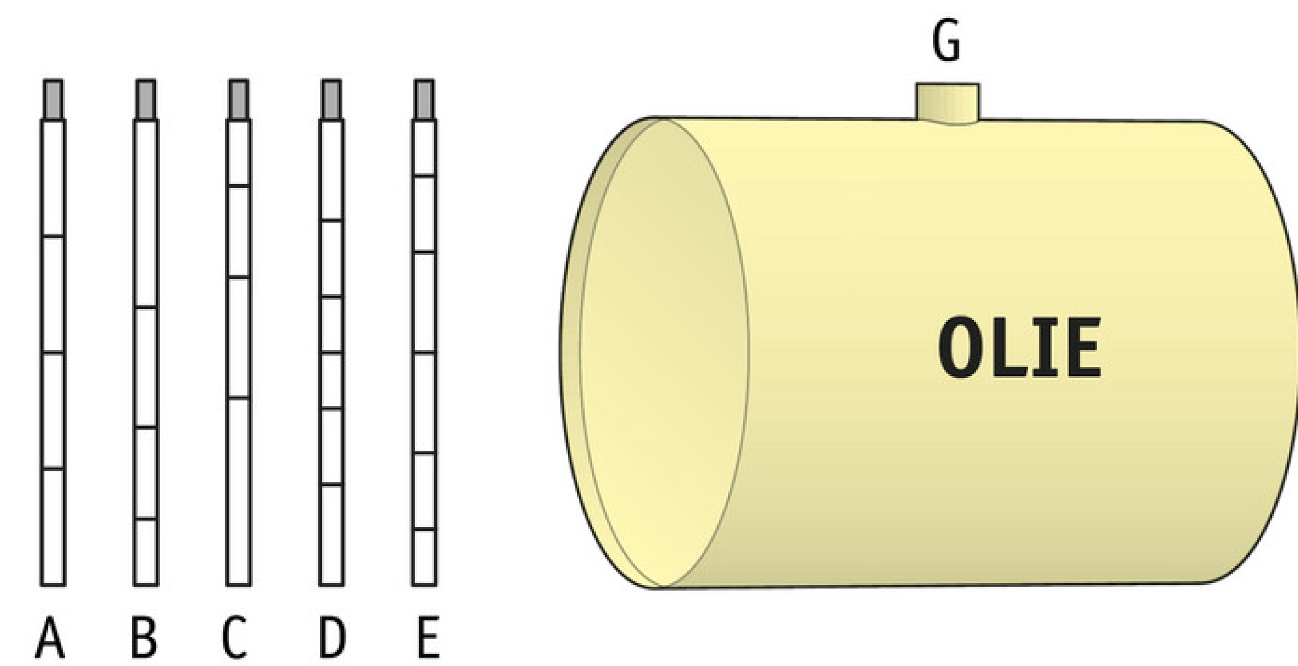
9 In een recept staat bij de ingrediënten: twee eetlepels zonnebloemolie.
Een eetlepel is in dit geval:
A een niet erg nauwkeurige, maar wel handige eenheid van massa.
B een niet erg nauwkeurige, maar wel handige eenheid van volume.
C een niet erg nauwkeurige, maar wel handige eenheid van dichtheid.
D geen eenheid; je kunt ook (af)meten zonder eenheden te gebruiken.

10 In figuur 39 zie je enkele cilindertjes die op een school bij dichtheidsproeven worden gebruikt.
De cilindertjes zijn 4,0 cm hoog en hebben een diameter van 1,0 cm.
Bereken hoe groot het volume van één cilindertje is.



▲ **figuur 39**
Hoe groot is het volume van één cilindertje?

11 In figuur 40 is een olievat getekend. Om te meten hoeveel olie er nog in het vat zit, wordt een peilstok gebruikt die via gat G in het vat wordt gestoken. Op de stok is een schaalverdeling aangebracht, waarop elk volgend streepje dezelfde volumeverandering aangeeft.
Op welke peilstok is de juiste schaalverdeling voor dit vat aangegeven: op peilstok A, B, C, D of E?

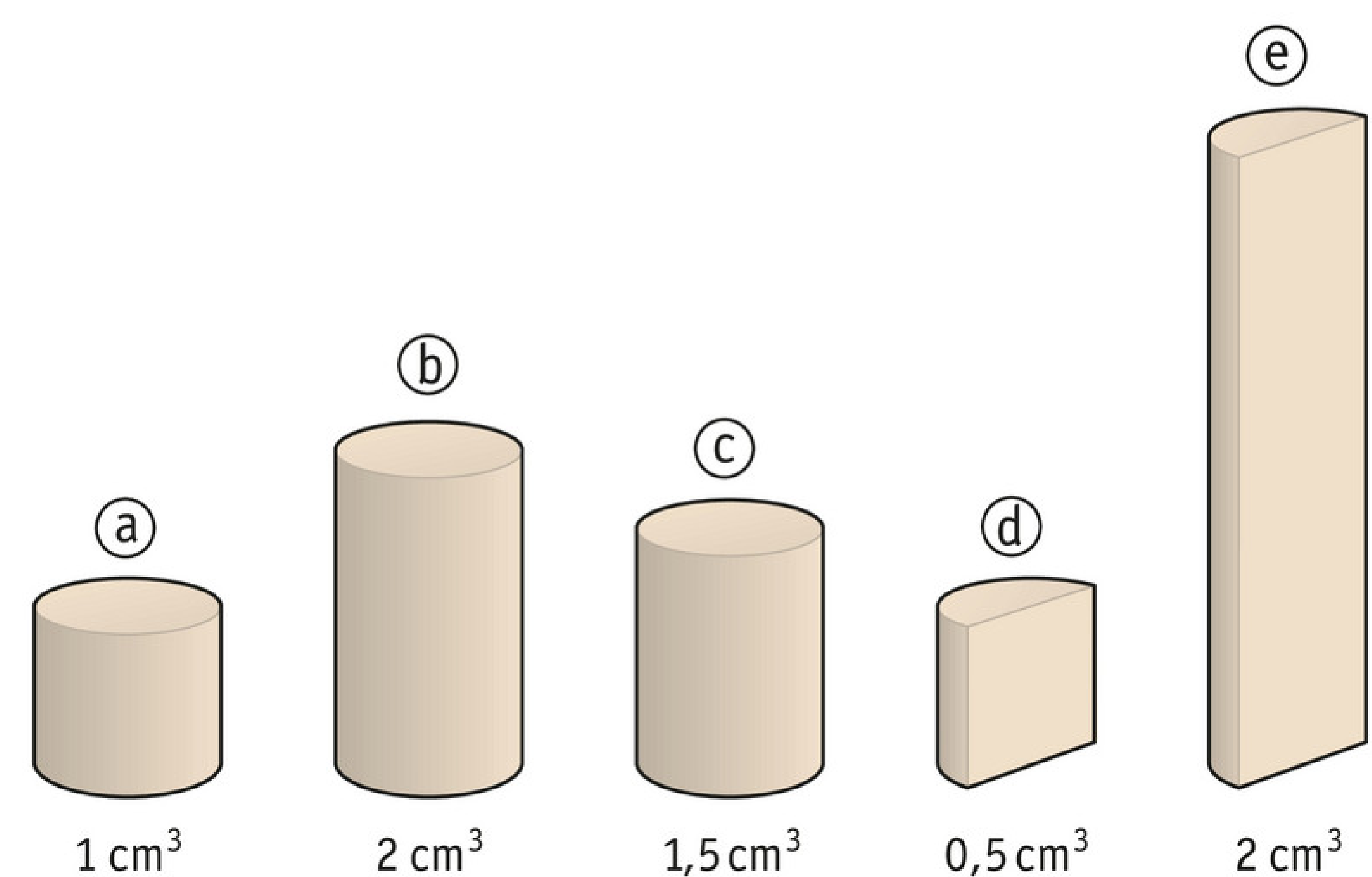


▲ **figuur 40**
olie peilen met een peilstok

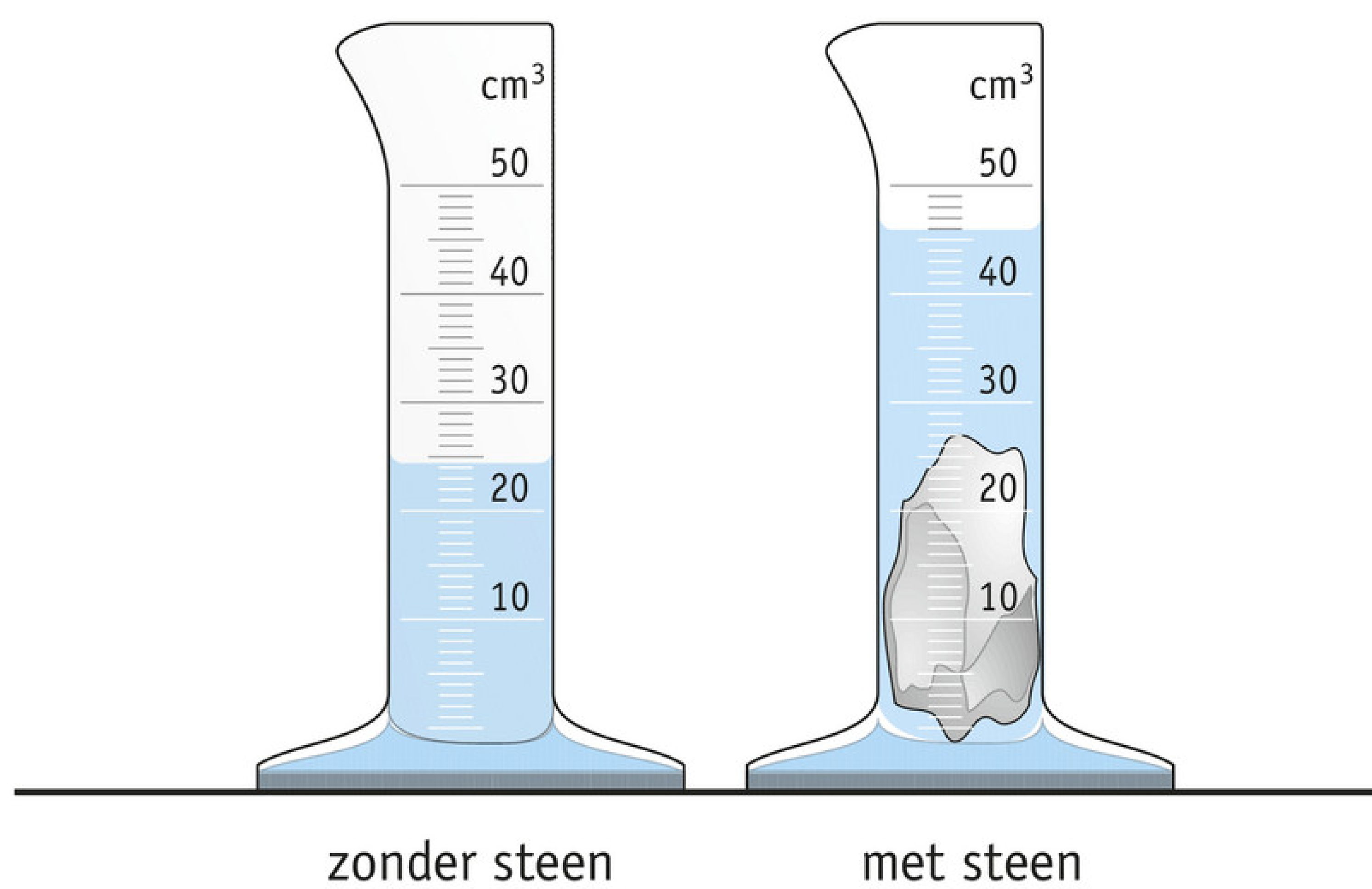
12 Op de verpakking van een vanille-ijsje staat: 90 mL/50 g. Het ijs is ook in pakken van een liter verkrijgbaar.
Hoeveel hele ijsjes van 90 mL kunnen er uit zo'n literpak worden gemaakt?

13 Op het etiket van een fles limonadesiroop staat: 0,75 L | 850 g.
Hoe groot is de dichtheid van de limonadesiroop?

14 Yvon zaagt allerlei stukken hout van een bezemsteel (figuur 41).
a Welke stukken hebben dezelfde massa?
b Welke stukken hebben dezelfde dichtheid?



▲ **figuur 41**
vijf stukken van een bezemsteel



▲ **figuur 42**
Zo bepaalt Tommie het volume van de steen.

15 Tommie laat een steen in een maatcilinder met water glijden (figuur 42).
Hoe groot is het volume van de steen?

16 De massa van de steen in figuur 42 is 55 g.
Bereken de dichtheid van deze steensoort.

17 Het woord 'zuiver' wordt in het dagelijks leven op een andere manier gebruikt dan in de natuur- en scheikunde.
a Wat wordt in het dagelijks leven bedoeld met 'zuiver drinkwater'?
b Wat verstaat een scheikundige onder 'een zuivere stof'?

18 Anouk krijgt een bekerglas met zeewater om daar een proef mee te doen. Om te beginnen moet ze de massa van het zeewater bepalen. Ze kan het water natuurlijk niet zomaar uit het glas op de weegschaal gieten.
Hoe kan ze dan toch de massa van alleen het zeewater (zonder het glas) bepalen?
a Beschrijf stap voor stap hoe Anouk te werk kan gaan.
b Onderstreep de hulpmiddelen die ze daarbij nodig heeft.

19 Op een doos met cilindervormige kaarsen staat het etiket van figuur 43.
Bereken met de informatie op het etiket de dichtheid van de stof waarvan de kaarsen gemaakt zijn.

HEMA

▶ **30 Huishoudkaarsen 1,5 kg**

▶ Lengte 18 cm – Ø 20 mm

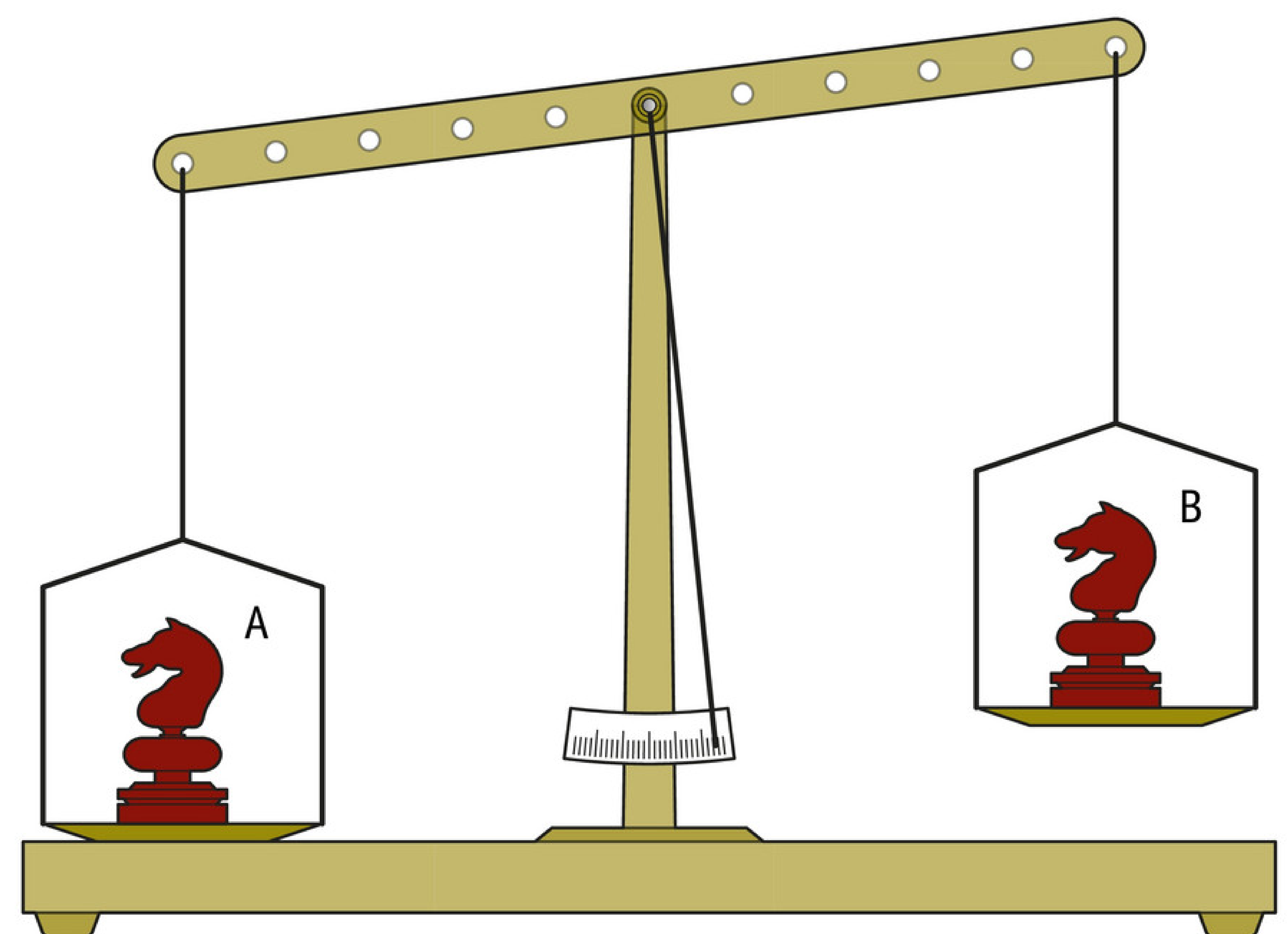
▶ ca. 6 branduren per kaars

▶ kaarsen loodrecht en minimaal 10 cm uit elkaar plaatsen
kaarsen niet op de tocht of in warme luchtstroom plaatsen
plaats rondom de pit schoonhouden
lange pitten kunnen roet veroorzaken, zonodig pit inkorten tot ca. 1 cm
niet met water doven

HEMA B.V. AMSTERDAM

▲ **figuur 43**
het etiket op een doos kaarsen

20 Op een weegschaal zijn twee schaakstukken gezet (figuur 44). Het ene schaakstuk is van zilver (10,5 g/cm³), het andere van goud (19,3 g/cm³). Dat kun je aan de buitenkant niet zien, want ze zijn allebei bruin geverfd.
Beredeneer welk schaakstuk van goud is gemaakt. Schrijf alle denkstappen nauwkeurig op.



▲ **figuur 44**
een paard van zilver en een paard van goud

Goud
echt of namaak?

Goud is geel en het glanst. Maar een metaal dat geel is en glanst, hoeft nog geen goud te zijn. Vroeger, toen er nog gouden munten in omloop waren, beten marktkooplui soms op zo'n munt om erachter te komen of hij wel echt was. Zuiver goud is zo zacht dat je tandafdrukken erin blijven staan. Het lijkt erop dat topsporters die oude gewoonte hebben overgenomen. Tijdens de Olympische Spelen bijten de winnaars altijd even op hun medaille, al weet niemand meer waarom.

Wanneer is een voorwerp echt van goud? We leggen deze vraag voor aan een expert: Jeanne Derksen, een professionele juwelier en goudinkoper. “Nou,” zegt ze, “als je met ‘goud’ 100% zuiver goud bedoelt, is het antwoord: nooit. Munten en sieraden worden niet van zuiver goud gemaakt, dat is veel te zacht. Het gaat altijd om een legering: een mengsel van goud met andere metalen. Zo’n legering is harder en krasbestendiger dan zuiver goud.”

“Goud is ook niet altijd geel,” vertelt Derksen. “Zuiver goud wel natuurlijk, maar goudlegeringen kunnen allerlei kleuren hebben. Er is wit goud, rood goud, groen goud en zelf paars goud. Welke kleur je krijgt, hangt af van de metalen in de mix. Gouden sieraden worden vaak gemaakt van legeringen waar veel zilver in zit. Die zijn fel geel, anders dan zuiver goud dat warm, oranjeachtig geel is. Legeringen met veel koper hebben juist een rode glans.”

Keurtekens

Maar hoe kun je er dan achter komen hoeveel goud een voorwerp bevat? Derksen legt uit: “Dat kun je zien aan het keurteken dat erin geslagen is. Elk land heeft zijn eigen keurtekens. Het Nederlandse keurteken:



betekent bijvoorbeeld dat de gebruikte legering voor 750/1000 – dus voor driekwart oftewel 75% – uit goud bestaat.”
“Maar let op,” zegt ze, “juweliers hebben hun eigen manier om het goudgehalte aan te geven. Ze gebruiken een speciale eenheid: de karaat. Daar hoort een schaal bij die van 0 tot 24 karaat loopt. 0 karaat is 0% goud, 6 karaat is 25% goud, 12 karaat is 50% goud, 18 karaat is 75% goud en 24 karaat is 100% goud. Als er een 750-keurteken op een voorwerp staat, zal een juwelier zeggen dat het van 18 karaats goud gemaakt is.”

Het goudgehalte van ‘goud’

In Nederland mogen voor gouden sieraden vier soorten legeringen gebruikt worden. Elk soort legering heeft zijn eigen keurteken. “Deze vier legeringen worden in de winkel gewoon goud genoemd,” verduidelijkt Derksen, “al gaat het natuurlijk niet om zuiver goud. Een sieraad van 14 karaats goud bestaat in werkelijkheid maar voor iets meer dan de helft uit goud.”

“Een sieraad van 14 karaats goud bestaat in werkelijkheid maar voor iets meer dan de helft uit goud.”

916	833	750	585
22 karaat	20 karaat	18 karaat	14 karaat
916/1000	833/1000	750/1000	585/1000

Goud testen

Maar hoe kun je nagaan of het allemaal wel klopt? Zo'n keurteken kan toch ook vervalst zijn? Derksen vertelt dat ze een voorwerp eerst goed bekijkt. "Soms zie je aan een slijtplek dat het om verguld koper of zilver gaat. Ik kijk ook goed of het metaal ergens is aangetast. Als dat zo is, weet je dat het goudgehalte nooit hoog kan zijn."

Daarna laat ze zien hoe ze een gouden armband test. Ze zet drie flesjes op tafel. "Pas op," zegt ze, "dit zijn agressieve zuren die je absoluut niet in je kleren of op je huid moet krijgen." Ze wijst op een flesje met '14 K' op het etiket. "Deze vloeistof heet '14 karaats water'. Maar vergis je niet, dit is salpeterzuur, een gemeen goedje. De meeste metalen lossen er vlot in op, maar goud van 14 karaat of meer kan er wel tegen."

Derksen pakt de armband en wrijft hem stevig over een toetssteen, een vierkant stuk leisteen met een glad oppervlak. Op de steen blijft een gele streep achter. Voorzichtig druppelt ze een beetje van de testvloeistof op de streep, maar er gebeurt niets. "Dat is precies wat je graag wilt zien," zegt Derksen. "Als de streep niet oplost, weet je dat het om echt goud gaat, van minstens 14 karaat."

Ze maakt een nieuwe streep op de toetssteen en pakt nu het flesje met '18 K' erbij. Deze keer verdwijnt de gele streep meteen als ze er een paar druppels testvloeistof op laat vallen. "Je ziet dat het





"In andere landen gelden andere regels. In de Verenigde Staten is '10k gold' – dat voor minder dan de helft uit goud bestaat – heel populair. Een Nederlandse juwelier mag dat geen goud noemen, maar de Amerikanen doen daar niet moeilijk over. Je begrijpt nu meteen waarom gouden sieraden in de VS zo goedkoop zijn ..."

goud nu wel oplost," zegt ze. "Dat betekent dat het goudgehalte lager is dan 18 karaat. Waarschijnlijk gaat het om 14 karaats geel goud, dat is een populaire legering."



Dichtheid

"Dit was maar een snelle eerste test," zegt Derksen, "maar het geeft een idee hoe je het goudgehalte kunt testen. Als de uitkomst klopt met het keurteken, zegt dat meestal wel genoeg. En anders kun je nog de dichtheid bepalen, als extra controle. Dat is een andere methode die ook betrouwbare resultaten geeft."

Derksen laat een tabel zien met de dichtheden van verschillende goudlegeringen. "Voor de meeste vervalsingen wordt zilver en koper gebruikt," vertelt ze. "Maar goud is erg zwaar, het heeft een veel grotere dichtheid dan zilver en koper. Dat is voor ons erg handig. Een vervalsing kan er bedrieglijk echt uitzien, zeker als je niet elke dag met goud werkt. Maar als je de dichtheid bepaalt, valt een vervalsing keihard door de mand."

Geloof het of niet: een gouden olympische medaille zou bij zo'n test ook keihard door de mand vallen. De gouden medailles van de Olympische Spelen in 2012 bestonden bijvoorbeeld maar voor 1,34% uit goud, de rest is zilver en koper. Een medaille van 450 g bevat maar 6 g goud, in een dun laagje aan de buitenkant. Het is maar goed dat de sporters niet erg hard op hun gouden plak bijten. Anders konden er weleens een paar tanden sneuvelen …

▼ **tabel** de dichtheid van enkele goudlegeringen (g/cm^3)

	585 / 14k	750 / 18k	916 / 22k	100 / 24k
geel goud	13,6	15,5	17,8	-
rood goud	13,0	15,0	17,6	-
puur goud	-	-	-	19,3

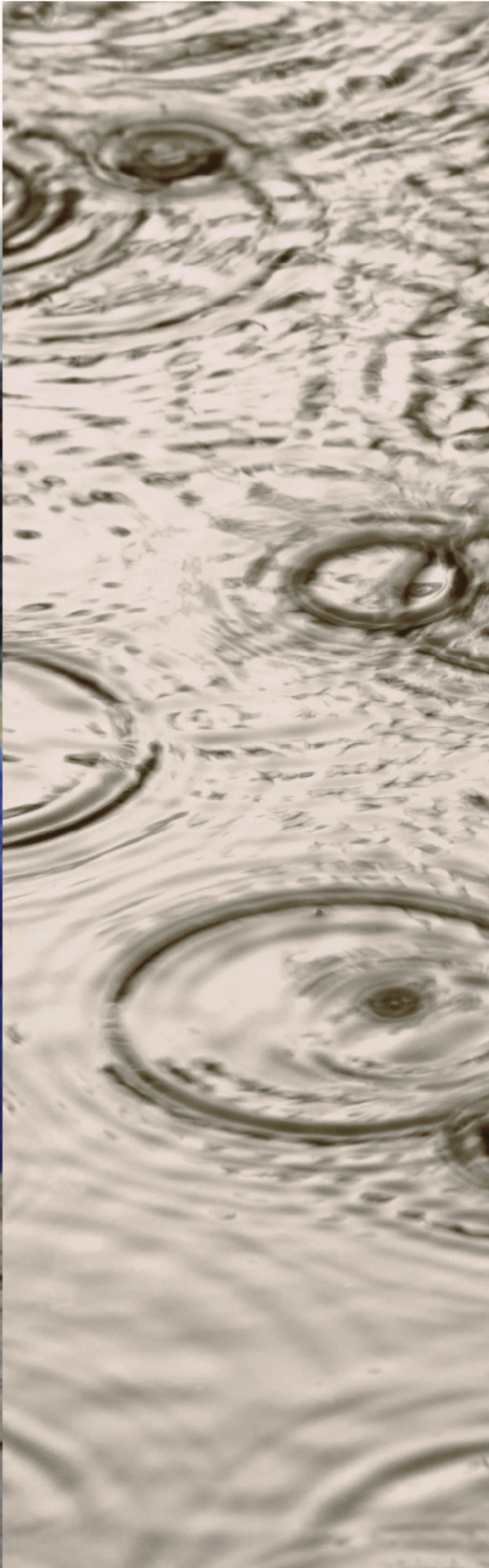
Opgaven

1 In de tekst kom je drie manieren tegen om gouden voorwerpen te testen. Welke stofeigenschap van goud helpt je om 'echt goud' te herkennen:
a als je stevig op een gouden tientje (ouderwets muntstuk) bijt?
b als je een 'goudkras' op een toetssteen test met salpeterzuur?
c als je de massa en het volume van een gouden voorwerp meet?

2 Leonne heeft op vakantie een armband gekocht van '9 karaats goud'.
a Mag deze legering in Nederland 'goud' genoemd worden? Leg uit.
b Laat zien dat 9 karaat overeenkomt met 375/1000 oftewel 37,5%.

***3** 'Geel goud' van 18 karaat heeft een grotere dichtheid dan 'rood goud' van 18 karaat.
a Met welk metaal wordt zuiver goud gemengd
– om het de felgele kleur te geven van 'geel goud'?
– om het de rode gloed te geven van 'rood goud'?
b Vergelijk de dichtheid van de metalen die je bij a hebt opgeschreven. Hoe komt het dat 'geel goud' een grotere dichtheid heeft dan 'rood goud'?





3 Water

Het weer

Bij veel activiteiten ben je afhankelijk van het weer. Een feest is geen feest meer, als de regen opeens met bakken uit de hemel komt. Wintersporters kunnen niet skiën als er te weinig sneeuw is gevallen. Mist en ijzel kunnen het verkeer helemaal lamleggen.

1 IJs, water, waterdamp



▲ figuur 1
Rijp bestaat uit allemaal kleine ijskristallen.

Regen, sneeuw, mist, hagel, rijp en dauw zien er heel verschillend uit. Regen bestaat uit doorzichtige druppels, sneeuwvlokken zijn wit en donzig, mist is een dichte grijze nevel die je het zicht beneemt op de wereld om je heen, enzovoort. Toch gaat het bij al deze weers-verschijnselen om dezelfde stof: water.

Vast, vloeibaar en gasvormig

Water kan, net als veel andere stoffen, voorkomen in drie toestanden:
– als **vaste stof**: ijs;
– als **vloeistof**: (vloeibaar) water;
– als **gas**: waterdamp.
Deze drie toestanden worden ook wel **fasen** genoemd.

Sneeuw, hagel en rijp bestaan uit ijs (figuur 1). Als je er een handvol van oppakt, smelt het ijs in je warme hand en blijft er alleen wat smeltwater over. Regen, mist en dauw bestaan uit waterdruppels. Bij regen en dauw kun je die druppels vaak goed zien, bij mist zijn ze microscopisch klein.

Het lastige bij waterdamp is dat je die niet kunt zien. Vaak wordt de naam 'waterdamp' gebruikt voor een nevel die uit fijne druppeltjes water bestaat. Maar dat is niet juist. Een nevel bestaat uit vloeibaar water, al zijn de druppeltjes zo klein dat je ze niet afzonderlijk kunt zien. Waterdamp is geen nevel, maar een onzichtbaar gas in de lucht om je heen.

In de lucht die je uitademt, zit verhoudingsgewijs veel waterdamp. Normaal gesproken merk je dat niet. Maar bij koud weer kan de waterdamp in je adem overgaan in kleine waterdruppeltjes, doordat je warme adem afkoelt in de koude buitenlucht. Je ziet dan een klein nevelwolkje voor je mond verschijnen (figuur 2).



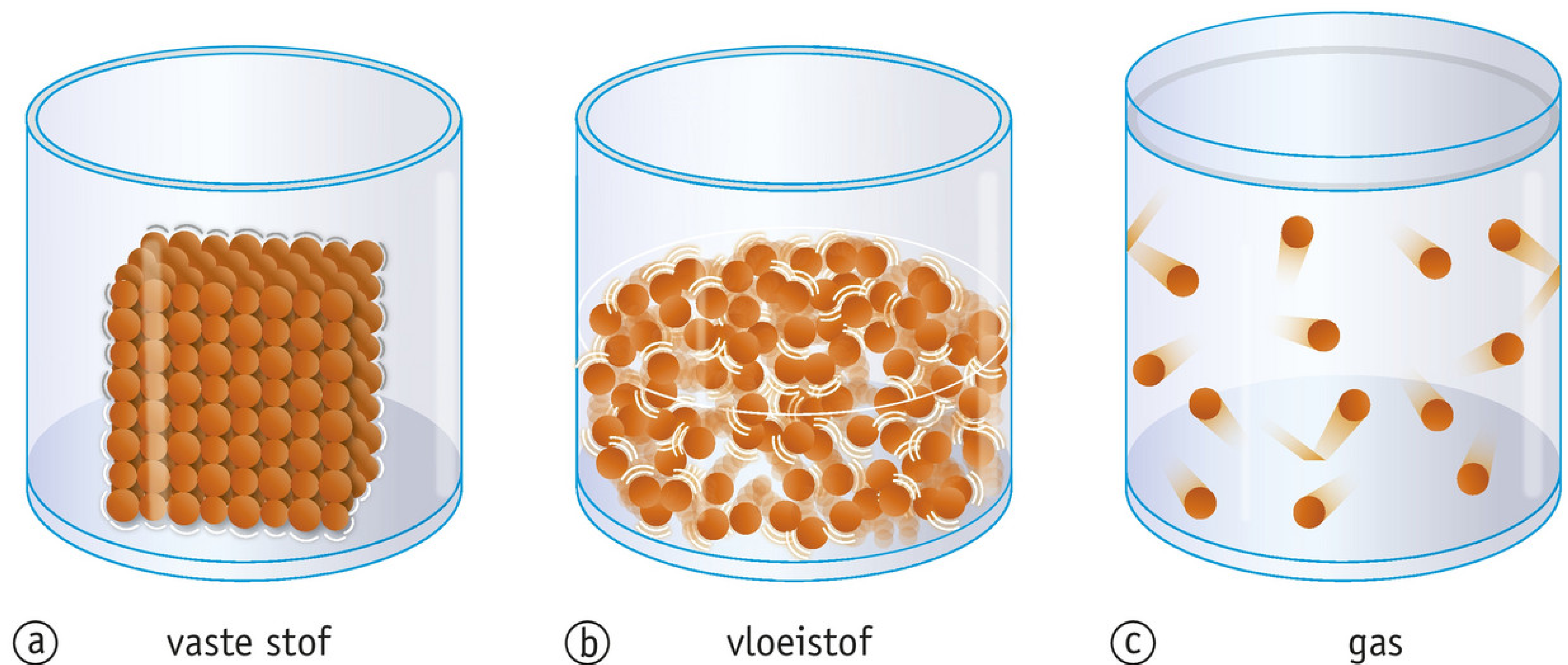
▲ figuur 2
Door de lage temperatuur van de lucht ontstaan er zichtbare 'nevelwolkjes'.

De fasen in het deeltjesmodel

Je kunt niet zien hoe de moleculen van een stof zoals water zich gedragen. Maar je kunt wel proberen om je dat voor te stellen. Je probeert dan voor je te zien wat moleculen doen en hoe ze elkaar beïnvloeden. Zo kun je je een beeld vormen van wat een stof is. Zo'n beeld noem je ook wel een 'model van een stof'.

In de natuurkunde en scheikunde wordt veel gebruikgemaakt van het **deeltjesmodel**. In dit model bestaat een stof steeds uit dezelfde moleculen, of de stof nu vast, vloeibaar of gasvormig is. Dat een stof verschillende fasen heeft, komt doordat de moleculen op verschillende manieren kunnen bewegen (en niet doordat de moleculen zelf veranderen).

Vaste stof
In een vaste stof hebben alle moleculen een eigen, vaste plaats (figuur 3a). De moleculen staan niet helemaal stil: ze trillen voortdurend heen en weer rond een gemiddelde 'evenwichtsstand', zonder hun vaste positie ten opzichte van de andere moleculen kwijt te raken. Een blok ijs heeft daardoor niet alleen een vast volume, maar ook een vaste vorm.



▶ **figuur 3**
de moleculen in een vaste stof, een vloeistof en een gas

Vloeistof
In een vloeistof hebben de moleculen geen vaste plaats. Ze bewegen voortdurend in alle richtingen langs elkaar heen (figuur 3b). Doordat de moleculen niet aan een vaste plaats gebonden zijn, heeft een waterdruppel geen vaste vorm. De moleculen blijven wel zo dicht mogelijk bij elkaar. Daardoor heeft een druppel water wel een vast volume.

Gas
De moleculen van een gas bewegen los van elkaar. Ze verspreiden zich meteen over de ruimte waar het gas in zit (figuur 3c). Hun onderlinge afstand is gemiddeld erg groot. De moleculen beïnvloeden elkaar niet, behalve wanneer ze op elkaar botsen. Een gas zoals waterdamp heeft daardoor geen vaste vorm en ook geen vast volume.

Kristallen

Sneeuw bestaat uit ijskristallen die allerlei mooie vormen hebben. Maar in al die verschillende vormen kun je dezelfde zeshoekige structuur herkennen. Deze **kristalstructuur** is kenmerkend voor ijs (figuur 4). Veel vaste stoffen hebben een eigen kenmerkende kristalstructuur.



▶ **figuur 4**
De ijskristallen in sneeuwvlokken hebben een herkenbare zeshoekige structuur.



▲ **figuur 5**
een model van een kristal met sinaasappels als moleculen

Dat kristallen een vaste vorm hebben, kun je verklaren met het deeltjesmodel. Omdat de moleculen van een stof allemaal gelijk zijn, kunnen ze op een regelmatige manier 'gestapeld' worden, net zoals sinaasappels in een supermarkt (figuur 5). Zo ontstaat een **kristalrooster** waarin elk molecuul een vaste plaats heeft.

Kristallen kunnen microscopisch klein zijn, maar ook centimeters groot. Een stuk bergkristal bestaat uit grote kristallen die aan elkaar zijn vastgegroeid. De kristalstructuur is dan ook met het blote oog goed waarneembaar (figuur 6).



▶ **figuur 6**
een stuk bergkristal

Plus Cohesie en adhesie



▲ **figuur 7**
een druppelende kraan: een voorbeeld van cohesie en adhesie

Moleculen van dezelfde stof trekken elkaar aan. Dat heet **cohesie**. Er kan ook een aantrekkingskracht bestaan tussen moleculen van verschillende stoffen. Dat heet **adhesie**. Cohesie zorgt ervoor dat een waterdruppel een bolvorm aanneemt: de moleculen gaan zo dicht mogelijk op elkaar zitten. Adhesie zorgt ervoor dat een waterdruppel aan een kraan blijft hangen (figuur 7).

Als je een suikerklontje met één uiteinde in het water houdt, zuigt het klontje zich vol met water. Dat komt doordat de adhesie (tussen suiker- en watermoleculen) veel groter is dan de cohesie (tussen de watermoleculen onderling). Daardoor kruipt water snel in de kleine openingen tussen de suikerkorrels.

Bij materialen die water absorberen, zoals keukenpapier en katoen, is de adhesie groter dan de cohesie in het water. Bij andere stoffen is dat precies omgekeerd. Waterdruppels blijven bijvoorbeeld op een vettig oppervlak liggen, omdat vet- en watermoleculen elkaar niet aantrekken: er is geen adhesie, alleen cohesie.

opgaven

Leerstof

1 In welke fase is het water bij de volgende weersverschijnselen?
- **a** regen
- **b** sneeuw
- **c** hagel
- **d** mist
- **e** rijp

2 Hoe bewegen de moleculen volgens het deeltjesmodel:
- **a** in een vaste stof?
- **b** in een vloeistof?
- **c** in een gas?

3 Een waterdruppel heeft geen vaste vorm, maar wel een vast volume. Geef hiervoor een verklaring met behulp van het deeltjesmodel.



▲ **figuur 8**
In welke fasen is het water?

Toepassing

4 In figuur 8 zie je een ketel met kokend water.
- **a** In welke fase is het water bij A? Waaraan zie je dat?
- **b** In welke fase is het water bij B? Waaraan zie je dat?
- **c** Hete waterdamp wordt ook wel stoom genoemd. Waar is het water stoom, bij A of bij B? Licht je antwoord toe.

5 Mist bestaat uit kleine druppeltjes vloeibaar water. Hoe merk je dat als je door dichte mist loopt of fietst?

6 De foto in figuur 9 is vlak na een ijzelbui gemaakt. De ijzel heeft een doorzichtig laagje gevormd op een tak.
- **a** In welke fase was het water toen het de tak raakte? Waaraan zie je dat?
- **b** In welke fase was het water toen de foto gemaakt werd? Waaraan zie je dat?



▶ **figuur 9**
een close-up van het ijzellaagje op een tak

7 Brandstoffen kunnen zowel vast, vloeibaar als gasvormig zijn.
Geef een voorbeeld uit het dagelijks leven:
- **a** van een vaste brandstof.
- **b** van een vloeibare brandstof.
- **c** van een gasvormige brandstof.

8 Zoek op internet informatie over sneeuwkristallen.
- **a** Verzamel een aantal foto's van sneeuwkristallen met verschillende vormen.
- **b** Hoe komt het dat sneeuwkristallen zoveel verschillende vormen hebben?
- **c** Hoe ziet de kristalstructuur eruit die je in al die vormen kunt herkennen?
- **d** Welke verklaring kun je geven voor het feit dat die structuur steeds opnieuw ontstaat?

***9** Leg uit met het deeltjesmodel hoe het komt:
- **a** dat je een gas gemakkelijk kunt samenpersen, maar een vloeistof niet.
- **b** dat je een kristal alleen in bepaalde richtingen mooi in tweeën kunt splijten.
- **c** dat je snel overal in het lokaal kunt ruiken dat er een gaskraan openstaat.



▲ **figuur 10**
Het water (links) heeft een holle vloeistofspiegel, het kwik (rechts) een bolle vloeistofspiegel.

Plus Cohesie en adhesie

10 Hoe wordt de aantrekkingskracht genoemd:
- **a** tussen moleculen van dezelfde stof?
- **b** tussen de moleculen van verschillende stoffen?

11 Verklaar met de begrippen cohesie en adhesie:
- **a** dat een waterdruppel aan een kraan een bolvorm aanneemt (figuur 7).
- **b** dat water in een reageerbuis een holle vloeistofspiegel heeft (figuur 10).
- **c** dat je met een krijtje op een bord of op een stoeptegel kunt schrijven.
- **d** dat je gemorst water snel weer kunt opdeppen met een vel keukenpapier.
- **e** dat waterdruppels van de veren van een eend af rollen zonder dat de veren nat worden.

2 Temperatuur



▲ figuur 11
Een weerkundige leest de temperatuur af.

Het weerbericht waarschuwt voor gladheid als er temperaturen 'onder nul' worden verwacht. Natte weggedeelten kunnen dan opvriezen, zodat er een spekglad laagje ijs op het wegdek ontstaat. Als de temperatuur van de buitenlucht stijgt tot 'boven nul', gaat het dooien en verdwijnt de gladheid weer. Met een weerthermometer kun je nagaan of de voorspellingen in het weerbericht uitkomen of niet.

De temperatuur meten

Je gevoel voor warm en koud is niet erg betrouwbaar. Lauw water voelt warm aan als je koude vingers hebt. Als het 's winters waait, lijkt het kouder dan het in werkelijkheid is: hoe harder het waait, des te kouder het aanvoelt, ook al verandert de temperatuur niet.

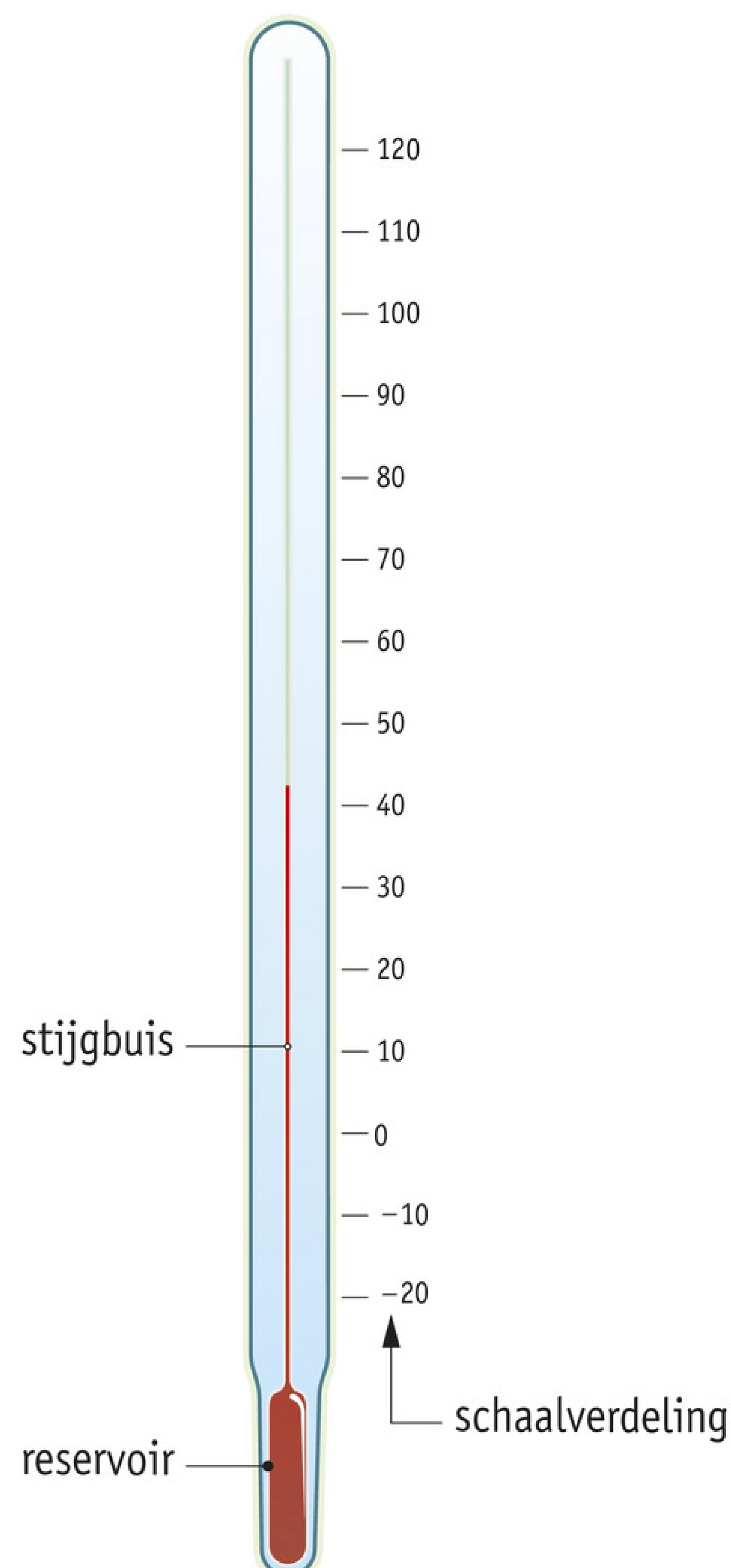
Met een **thermometer** kun je de **temperatuur** van de lucht om je heen meten. Je vindt dan een getalswaarde voor de temperatuur die onafhankelijk is van je gevoel. Jij kunt het 'flink koud' hebben, terwijl een ander het 'lekker fris' vindt. Maar met een goed werkende thermometer vind je allebei dezelfde waarde voor de temperatuur.

Als je een thermometer in de zon hangt, krijgt hij een hogere temperatuur dan de buitenlucht (net zoals je huid ook opwarmt als je in de zon zit; pas als er een wolk voor de zon schuift merk je dat de lucht helemaal niet zo warm is.) Een thermometer die in de zon hangt, kan de luchttemperatuur daardoor niet juist aangeven.

Weerkundigen hangen hun thermometers daarom 1,5 m boven de grond, in een wit geschilderd kastje. In de wanden van zo'n weerhut zitten openingen waar de wind vrij doorheen kan waaien (figuur 11). De thermometers in de weerhut nemen de temperatuur aan van de voorbij stromende lucht. Zo kan de luchttemperatuur betrouwbaar gemeten worden.

De vloeistofthermometer

Een bekend soort thermometer is de **vloeistofthermometer**. Zo'n thermometer bestaat uit een **reservoir** en een **stijgbuis** waarlangs een **schaalverdeling** is aangebracht (figuur 12). Het reservoir en een deel van de stijgbuis zijn gevuld met een vloeistof. In moderne thermometers wordt alcohol gebruikt, waaraan voor betere zichtbaarheid een kleurstof is toegevoegd.

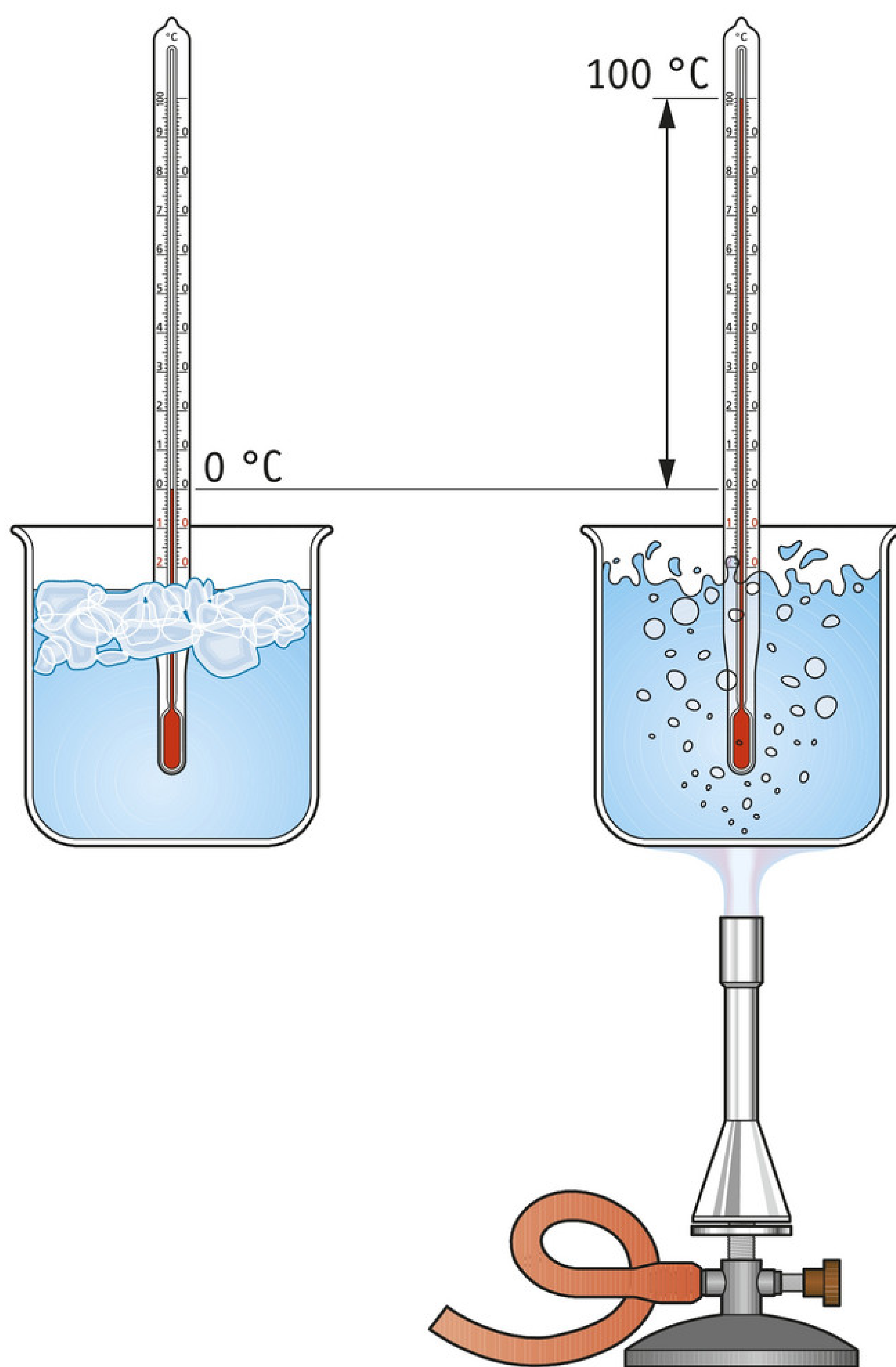


◀ figuur 12
een vloeistofthermometer

Als de temperatuur stijgt, zet de vloeistof in de stijgbuis uit. De vloeistof gaat dan in de buis omhoog. Als de temperatuur daalt, krimpt de vloeistof weer en daalt het vloeistofniveau. Omdat de buis erg nauw is, zie je de vloeistof al stijgen of dalen bij kleine temperatuurverschillen.

Je leest de temperatuur af door de hoogte van de vloeistof te vergelijken met de schaalverdeling langs de stijgbuis. In het dagelijks leven worden thermometers gebruikt met een schaalverdeling in **graden Celsius** (°C). Deze schaalverdeling wordt ook wel de Celsiusschaal genoemd.

Het verschil tussen de hoogste en laagste temperatuur die je met een thermometer kunt meten, noem je het **meetbereik** van de thermometer. Het meetbereik van de thermometer in figuur 12 loopt van –20 tot 120 °C.



▲ **figuur 13**
het maken van de schaalverdeling voor de temperatuur

De Celsiusschaal Proef 1

In figuur 13 is getekend hoe je een thermometer kunt voorzien van een schaalverdeling in graden Celsius:

1 Neem als nulpunt (0 °C) het niveau van de vloeistof bij de temperatuur van smeltend ijs.
2 Neem als honderdpunt (100 °C) het niveau van de vloeistof bij de temperatuur van kokend water.
3 Verdeel de afstand tussen deze twee punten met streepjes in tien gelijke delen. Tussen de streepjes zit dan telkens een verschil van 10 °C.
4 Zet ten slotte ook streepjes met dezelfde tussenruimte onder het nulpunt en boven het honderdpunt.

Het is dus een kwestie van afspraak dat het smeltpunt van water precies 0 °C is en het kookpunt van water precies 100 °C.

Koortsthermometers

Vroeger werden speciale vloeistofthermometers gebruikt om je lichaamstemperatuur te meten. Zo'n **koortsthermometer** heeft een meetbereik van 35 °C tot 43 °C. De stijgbuis is nauwer en het reservoir is groter dan bij gewone vloeistofthermometers. Daardoor is er zoveel ruimte tussen de graadstreepjes dat je de temperatuur gemakkelijk tot op een tiende graad nauwkeurig kunt aflezen.

Tegenwoordig worden digitale koortsthermometers gebruikt. Zo'n thermometer geeft de temperatuur aan met cijfers op een klein scherm. Daarop zie je in één oogopslag hoe hoog je lichaamstemperatuur is (figuur 14). Een digitale thermometer bevat geen vloeistof die uitzet en inkrimpt als de temperatuur stijgt of daalt, maar werkt elektronisch.

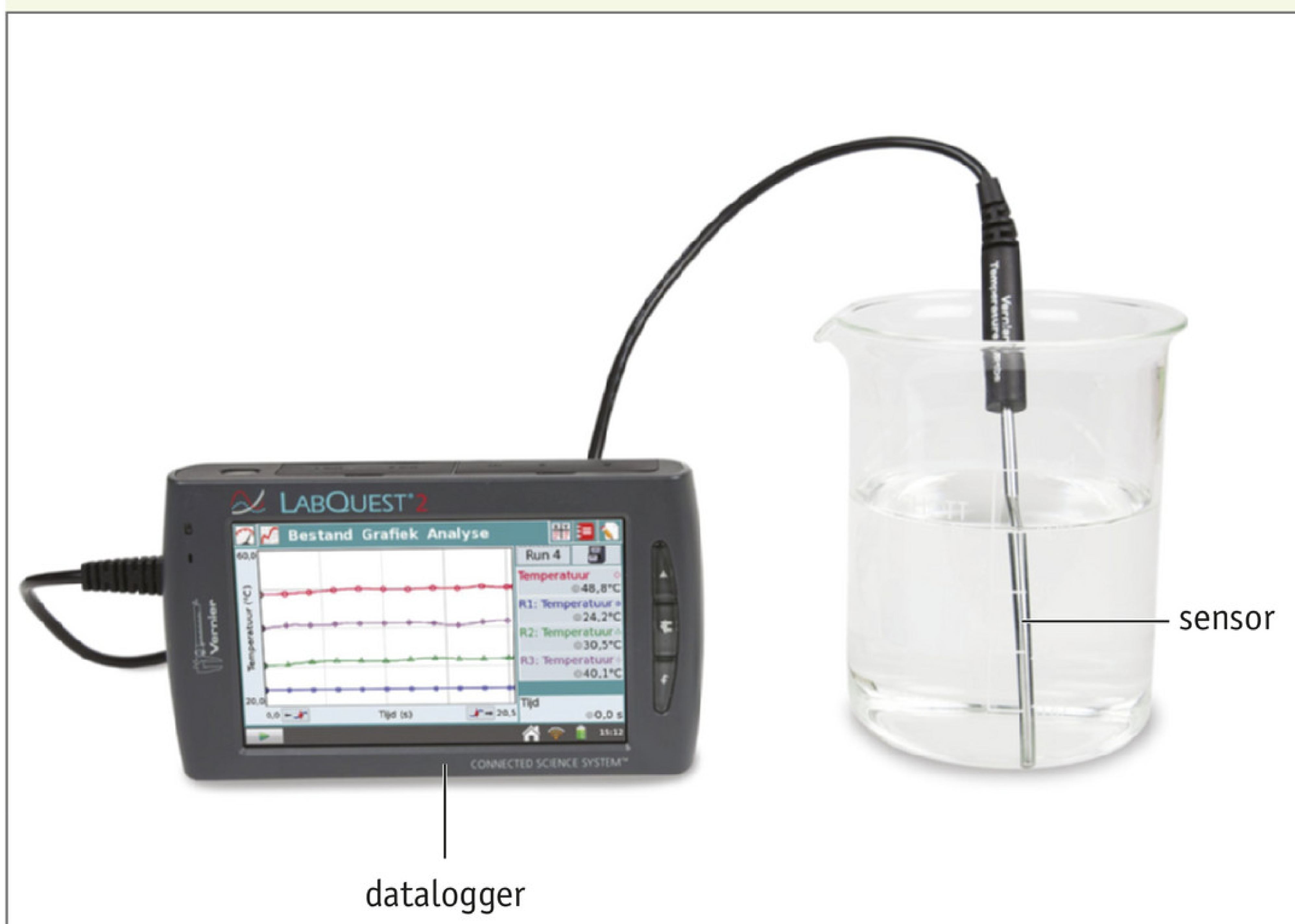


◀ **figuur 14**
een digitale oorthermometer

Plus Meten met een datalogger

Soms is het interessant om te weten hoe de temperatuur in een bepaalde tijd verandert. Met de opstelling in figuur 15 kun je dat automatisch meten. De **sensor** produceert een elektrisch signaal dat afhangt van de temperatuur. De **datalogger** – een kleine, gespecialiseerde meetcomputer – leidt uit dit signaal af hoe hoog de temperatuur is.

Op het scherm van de datalogger kun je instellen hoe lang je wilt meten (bijvoorbeeld acht uur lang) en hoe vaak (bijvoorbeeld één keer per minuut). Nadat je de meting hebt gestart, gaat alles vanzelf: de datalogger slaat de meetresultaten automatisch op in een meetbestand. Als er acht uur lang één keer per minuut wordt gemeten, staan er in dit bestand in totaal 8 × 60 = 480 metingen (ook wel 'samples' of 'monsters' genoemd).



De datalogger kan de meetresultaten op verschillende manieren weergeven op het scherm: als getallen in een tabel of als punten in een grafiek. In zo'n grafiek staat de tijd langs de horizontale as en de temperatuur langs de verticale as. Je kunt de datalogger ook aansluiten op een computer en de gegevens op het computerscherm bekijken.

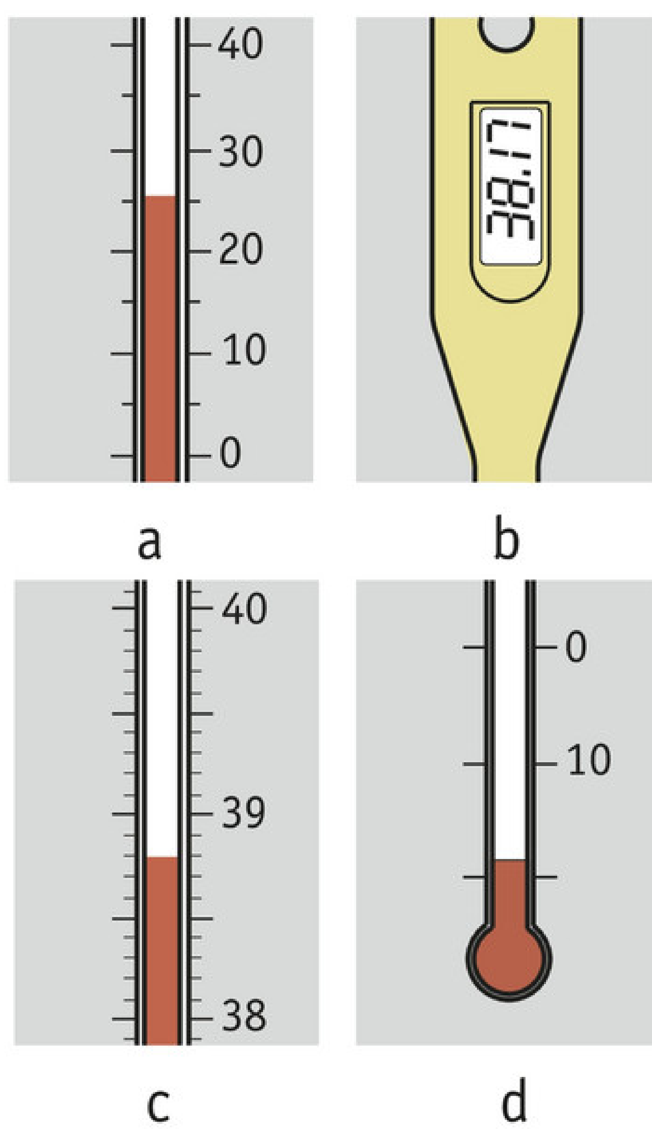
◀ **figuur 15**
Met deze opstelling kun je automatisch een serie temperatuurmetingen doen.

opgaven **Leerstof**

12 Uit welke drie onderdelen bestaat een vloeistofthermometer?

13 Beschrijf in je eigen woorden op welke manier je een thermometer kunt voorzien van een schaalverdeling in graden Celsius.

14 Natasja gaat een proef doen waarbij ze de brander nodig heeft.
Wat moet Natasja controleren voordat ze de brander aansteekt?
Zie vaardigheid 6 achter in het boek.



▲ **figuur 16**
vier thermometers

Toepassing

15 In figuur 16 zie je vier verschillende thermometers.
- **a** Lees elke thermometer zo nauwkeurig mogelijk af.
- **b** Welke thermometer kun je het gemakkelijkst aflezen?
- **c** Hoe noem je zo'n gemakkelijk afleesbare thermometer?

16 Bij deze opgave heb je werkblad 3-1 nodig.
Henk heeft een proef gedaan met een vloeistofthermometer zonder schaalverdeling. Daarbij heeft hij het nulpunt en het honderdpunt aangegeven.
Op het werkblad zie je Henks thermometer. Bepaal zo nauwkeurig mogelijk welke temperatuur hij op dit moment aangeeft. Tip: maak een schaalverdeling.

17 Tussen de graadstrepen van een vloeistofthermometer zit steeds een bepaalde afstand.
- **a** Wat moet een fabrikant van thermometers doen om die afstand groter te maken?
  - A De stijgbuis nauwer maken en het reservoir kleiner.
  - B De stijgbuis nauwer maken en het reservoir groter.
  - C De stijgbuis wijder maken en het reservoir kleiner.
  - D De stijgbuis wijder maken en het reservoir groter.
- **b** Welk voordeel heeft een grotere afstand tussen de graadstrepen?
- **c** Welke nadelen heeft een grotere afstand tussen de graadstrepen?

18 In de bergen kun je soms in je zwempak zonnebaden, terwijl je ligstoel in de sneeuw staat (figuur 17).
- **a** Waaraan merk je dat de temperatuur van de lucht nog onder de 0 °C ligt?
- **b** Waaraan merk je dat de temperatuur van je huid ver boven de 0 °C ligt?
- **c** Stel je voor dat er naast je ligstoel een thermometer in de zon ligt. Geeft deze thermometer betrouwbaar de luchttemperatuur aan? Licht je antwoord toe.



▶ **figuur 17**
zonnebaden in de sneeuw



▲ **figuur 18**
de temperatuurschaal van een auto

19 Automotoren worden gekoeld met een koelvloeistof. Op het dashboard wordt aangegeven hoe hoog de temperatuur van de koelvloeistof is (figuur 18).

a In hoeveel delen is de temperatuurschaal verdeeld?
b Wat betekenen de aanduidingen 'Hi' en 'Lo'?
c Waar zal de wijzer staan, als de motor net gestart is?
d Waarom is deze temperatuurschaal handiger voor een automobilist dan een schaal in graden Celsius? Licht je antwoord toe.

***20** Zoek op internet informatie over de temperatuurschaal van Fahrenheit.

a In welke delen van de wereld wordt de temperatuur in het dagelijks leven gemeten in graden Fahrenheit (°F)?
b Neem over en vul in.
0 °C = … °F
100 °C = … °F
c Met hoeveel graden op de Fahrenheitschaal komt één graad stijging op de Celsiusschaal overeen?
d Leg uit hoe je een temperatuur kunt omrekenen van graden Celsius in graden Fahrenheit, en omgekeerd.
e Bij welke temperatuur hebben de Celsiusschaal en de Fahrenheitschaal dezelfde getalswaarde?
f De normale lichaamstemperatuur is 37 °C.
Hoeveel is dat in graden Fahrenheit?
g Op een Engelstalige website lees je:
"On my journey to find Tulsa's Salvation Army, I discovered I was very underdressed for the cold weather. I later learned the temperature went down to 32 that night (which for Tulsa, was very cold)."
Waar ligt Tulsa en hoe koud was het die nacht (in graden Celsius)?

Plus Meten met een datalogger

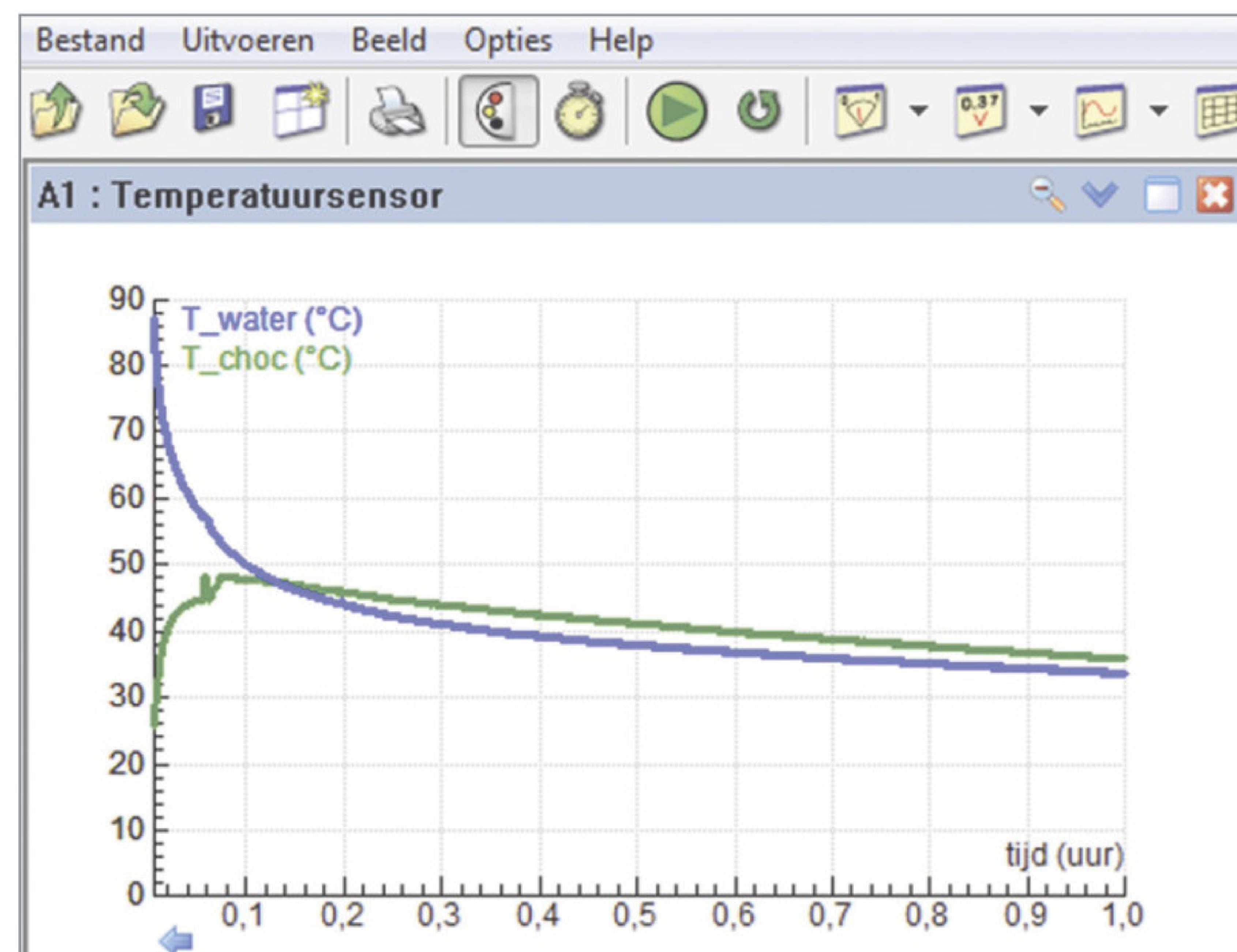
21 Temperatuursensoren kom je in allerlei apparaten tegen.
Neem tabel 1 over en vul hem verder in.

▼ **tabel 1** vier apparaten met een temperatuursensor

de sensor in een:	meet de temperatuur van:
cv-thermostaat	de lucht in de kamer
elektrische oven	
elektrische frituurpan	
babyflessenwarmer	

22 Jessica heeft onderzocht wat er gebeurt, als je een pakje chocomel opwarmt in een bekerglas met heet water. Daarbij heeft ze twee sensoren gebruikt: de ene sensor in de chocomel, de andere sensor in het water. Ze heeft het pakje chocomel in het hete water gezet en meteen daarna de meting gestart. In figuur 19 zie je hoe de datalogger het temperatuurverloop vanaf dat moment weergeeft.

- **a** Waarom is het bij deze proef handig om de temperatuur automatisch te meten?
- **b** Hoe lang heeft de proef geduurd (vanaf het begin van de metingen)?
- **c** Welke temperatuur had het water, toen de proef begon?
- **d** Welke temperatuur had de chocomel, toen de proef begon?
- **e** Welke temperatuur bereikte de chocomel op zijn hoogst?
- **f** Na hoeveel minuten werd die hoogste temperatuur bereikt?
- **g** Wat valt je op aan het temperatuurverloop na circa acht minuten? Probeer hiervoor een verklaring te geven (zelf bedenken).



▶ **figuur 19**
Jessica's meetresultaten

3 Veranderen van fase

Het weer kan plotseling omslaan. Een zomerdag kan beginnen met een strakblauwe lucht en eindigen met een flinke onweersbui. 's Winters zijn bomen en struiken na een koude nacht soms opeens bedekt met een dikke laag rijp. Als de dooi invalt, wordt het ijs waar je gisteren nog op schaatste, snel onbetrouwbaar. In al deze situaties heb je te maken met water dat van fase verandert.

Fase-overgangen

Als water smelt of bevriest, noem je dat een **fase-overgang**: de stof gaat over van de ene fase in de andere. Er zijn zes fase-overgangen (figuur 20):
- **stollen**/**bevriezen**: van vloeibaar naar vast
- **smelten**: van vast naar vloeibaar
- **verdampen**: van vloeibaar naar gasvormig
- **condenseren**: van gasvormig naar vloeibaar
- **rijpen**: van gasvormig naar vast
- **vervluchtigen**: van vast naar gasvormig



▶ **figuur 20**
de fase-overgangen in schema

Voor de overgang van vloeibaar naar vast bestaan twee woorden: stollen en bevriezen. Van water zeg je dat het bevriest, van kaarsvet dat het stolt. Welk woord je gebruikt, hangt af van de temperatuur. Als een vloeistof vast wordt bij een temperatuur van 0 °C of lager, noem je dat 'bevriezen'. Als hetzelfde gebeurt bij een hogere temperatuur, gebruik je het woord 'stollen'.

Fase-overgangen en het weer

De fase-overgangen van water spelen een belangrijke rol bij allerlei weersverschijnselen.

Bevriezen
Als het vriest, verschijnt er een laag ijs op het water in plassen en vijvers. Het bovenste laagje water bevriest: van vloeibaar wordt het vast. Als het blijft vriezen, groeit het ijslaagje van onderaf steeds verder aan.

Smelten
Als het gaat dooien, smelt de ijslaag op plassen en vijvers snel weg. Boomtakken die pas nog wit waren van de rijp, worden nu weer kaal, terwijl de waterdruppels naar beneden vallen. Vast ijs wordt weer vloeibaar water.



▲ **figuur 21**
Dauw bestaat uit kleine waterdruppels.

Verdampen
Als na een regenbui de zon schijnt, zijn de straten algauw weer droog. Plassen worden steeds kleiner en verdwijnen ten slotte helemaal. Dat komt doordat het regenwater bij warm weer snel verdampt: zichtbaar water wordt onzichtbare waterdamp.

Condenseren
Als warme lucht 's nachts afkoelt tegen een koud voorwerp, condenseert de waterdamp die erin zit. Op grassprieten en bladeren verschijnen dan kleine waterdruppels (figuur 21). Onzichtbare waterdamp wordt zichtbaar water.

Rijpen
Als de temperatuur 's nachts daalt tot onder 0 °C, ontstaat er geen dauw, maar rijp. De waterdamp in de lucht gaat over in kleine ijskristallen die boomtakken en grassprieten een prachtig wit uiterlijk geven (figuur 22).



▶ **figuur 22**
Rijp kan bomen en struiken een heel ander uiterlijk geven.

Vervluchtigen
Als de lucht erg koud en droog is, wordt een laag sneeuw geleidelijk dunner. Dat komt doordat ijs onder die omstandigheden langzaam verandert in waterdamp. Er zijn ook stoffen die snel vervluchtigen, zoals vast koolstofdioxide ('droog ijs').

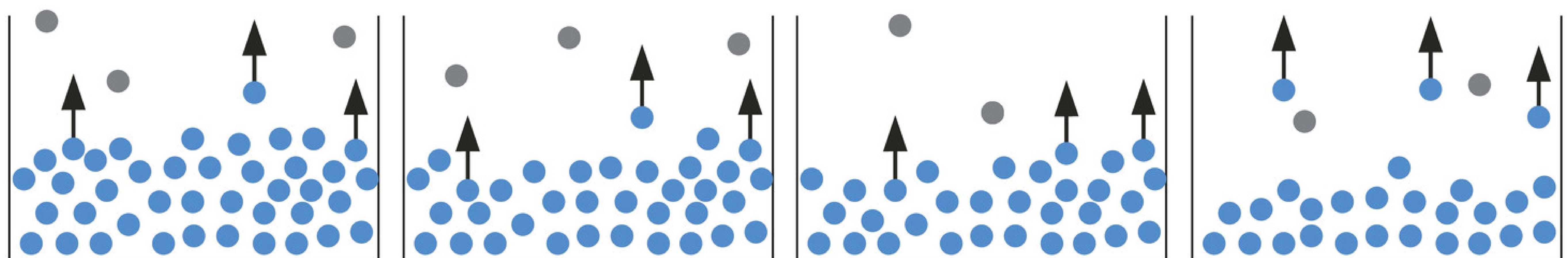
De invloed van de temperatuur

Het is duidelijk dat de temperatuur een belangrijke rol speelt bij de verschillende fase-overgangen. Met het deeltjesmodel kun je verklaren hoe dat komt. Als voorbeeld de fase-overgangen smelten en verdampen.

Smelten in het deeltjesmodel
In een vaste stof zijn de moleculen dicht op elkaar gestapeld in een regelmatig patroon. Tussen moleculen die aan elkaar grenzen, bestaan aantrekkende krachten. Dat zorgt ervoor dat elk molecuul op zijn vaste plaats blijft. Hoe kleiner de afstand tussen twee aangrenzende moleculen, des te groter is de onderlinge aantrekkingskracht.

Als de temperatuur stijgt, gaan de moleculen steeds heviger trillen. De afstand tussen de moleculen wordt dan groter. Je merkt dat doordat de stof uitzet. Door de grotere afstand trekken de moleculen elkaar minder sterk aan. Als de temperatuur een bepaalde waarde bereikt (bij water is dat 0 °C), is de aantrekkingskracht te klein om de moleculen op hun vaste plaats te houden: de stof smelt dan en wordt vloeibaar.

Verdampen in het deeltjesmodel
In een vloeistof zijn de moleculen steeds in beweging. Hun onderlinge aantrekkingskracht zorgt ervoor dat ze dicht bij elkaar in de buurt blijven. Alleen aan het vloeistofoppervlak is dat anders. Af en toe heeft een molecuul daar zoveel snelheid dat hij uit de vloeistof kan ontsnappen (figuur 23). Zo'n molecuul gaat dan deel uitmaken van de lucht boven de vloeistof. Zo raakt de vloeistof steeds meer moleculen kwijt: de vloeistof verdampt.

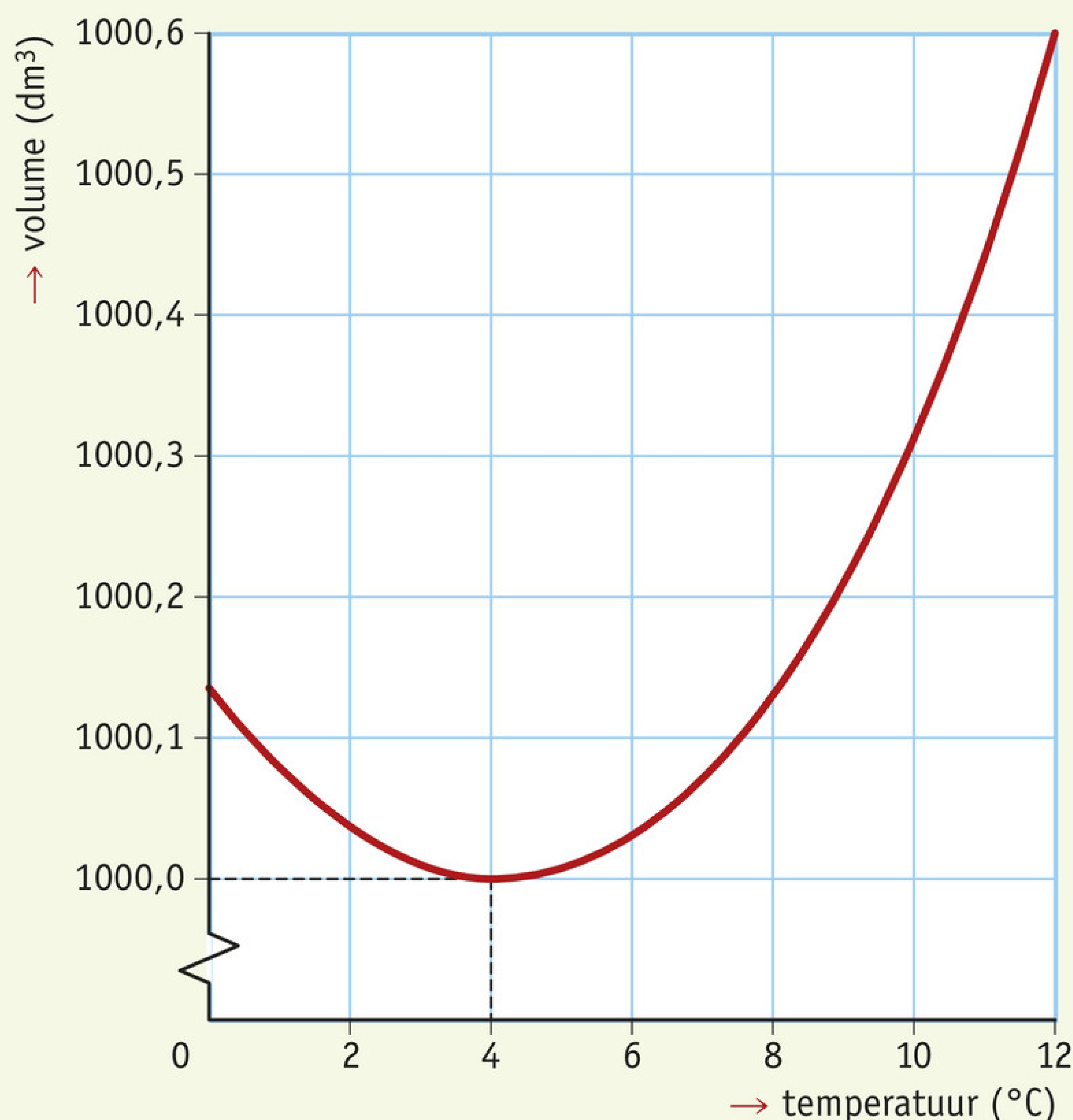


▲ **figuur 23**
Verdampen is het ontsnappen van moleculen uit een vloeistof.

Hoe hoger de temperatuur, des te groter is de gemiddelde snelheid van de moleculen en des te gemakkelijker kunnen ze uit de vloeistof ontsnappen. Vloeistoffen verdampen daardoor sneller als de temperatuur stijgt.

Plus Water: een uitzondering

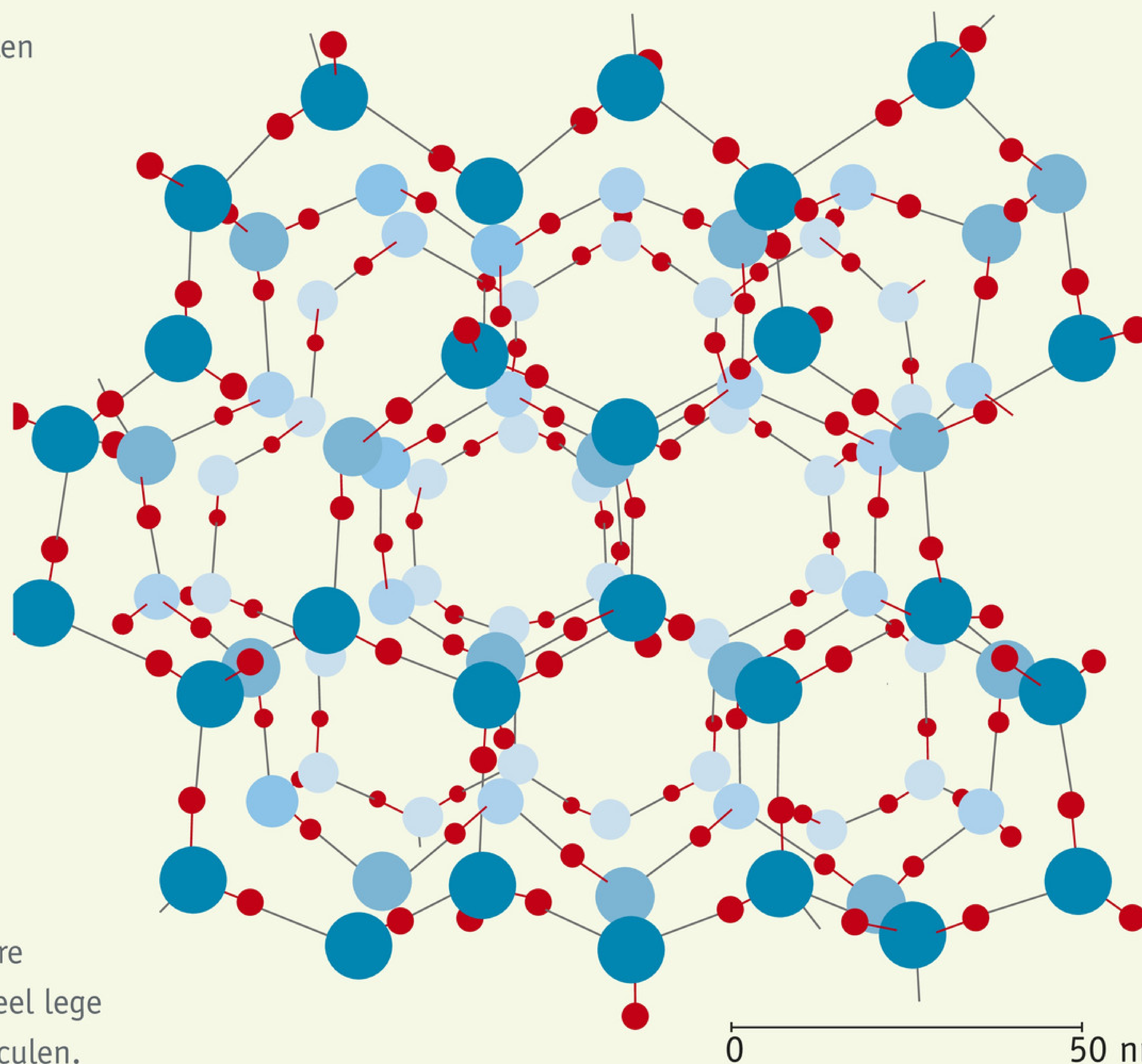
Bijna alle vloeistoffen krimpen als de temperatuur daalt. Doordat de moleculen minder snel bewegen, botsen ze minder hevig en duwen elkaar minder ver opzij. Toch is er een belangrijke uitzondering op deze regel: water tussen 4 °C en 0 °C. Als water afkoelt, krimpt het net als andere vloeistoffen tot de temperatuur 4 °C is. Maar als water nog verder afkoelt, van 4 °C tot 0 °C, gaat het juist weer uitzetten (figuur 24).



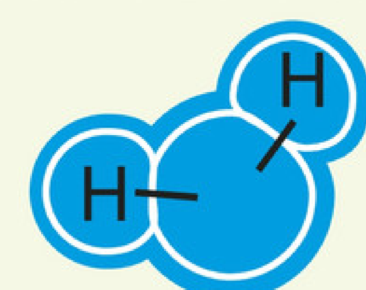
▲ **figuur 24**
het krimpen en uitzetten van water

Als het water daarna bevriest, zet het nog verder uit: als 1 dm^3 water van 0 °C bevriest, ontstaat er ongeveer 1,1 dm^3 ijs. Het volume neemt tijdens het bevriezen dus toe met ongeveer 10%. Daarom moet je er erg voor oppassen dat de waterleiding in de winter bevriest. De buizen kunnen gemakkelijk kapotvriezen.

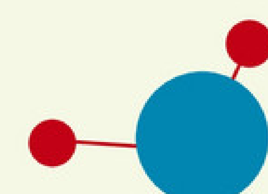
Dat water uitzet bij bevriezing, heeft te maken met de bijzondere kristalstructuur van ijs. De moleculen vormen zeshoeken met daarbinnen veel lege ruimte (figuur 25). Daardoor is de gemiddelde afstand tussen de moleculen in ijs groter dan in water. Het vormen van zeshoeken begint al wanneer de temperatuur daalt onder 4 °C, al ontstaat er dan nog geen permanent kristalrooster. Daardoor bereikt water zijn grootste dichtheid bij 4 °C.



Voor de duidelijkheid is elk watermolecuul:



zo getekend:



▶ **figuur 25**
IJs heeft een bijzondere kristalstructuur, met veel lege ruimte tussen de moleculen.

opgaven

Leerstof

23 Welke fase-overgang is er de oorzaak van:
- **a** dat het gras 's ochtends vroeg nat is van de dauw?
- **b** dat een straat na een regenbui snel weer opdroogt?
- **c** dat de takken van bomen en struiken met rijp zijn bedekt?
- **d** dat een sneeuwlaag bij strenge vorst steeds dunner wordt?
- **e** dat je bij koud weer een nevelwolkje uit je mond ziet komen?

24 Deze vraag gaat over de woorden 'stollen' en 'bevriezen'.
Leg uit:
- **a** wat de overeenkomst is in de betekenis van deze woorden.
- **b** wat het verschil is in de betekenis van deze woorden.

25 Als je een ijsblokje in je hand houdt, smelt het ijs.
Beschrijf wat er dan met de watermoleculen gebeurt.

Toepassing

26 Met welke fase-overgang heb je te maken:
- **a** als je kleren na een regenbui weer opdrogen in de wind?
- **b** als de ruiten van het lokaal op een koude dag beslaan?
- **c** als je ijsblokjes maakt in het vriesvak van de koelkast?
- **d** als je het vriesvak van de koelkast laat ontdooien?
- **e** als er zich condens vormt op de spiegel in de badkamer?
- **f** als het water in een vogeldrinkbakje langzaam verdwijnt?
- **g** als een koud glas limonade aan de buitenkant beslaat?
- **h** als wasgoed 's winters aan de waslijn 'droogvriest'?
- **i** als er op diepgevroren producten ijskristallen ontstaan?
- **j** als je aardappels in een pan voorzichtig droog laat koken?

27 Als Brian thuiskomt en de kamer binnenstapt, beslaan zijn brillenglazen meteen.
- **a** Wat kun je zeggen over de temperatuur binnen en buiten?
- **b** Waar komen de waterdruppeltjes vandaan die Brians brillenglazen wazig maken?
- **c** Om welke fase-overgang gaat het hier?

28 In het weerbericht wordt gewaarschuwd voor mist: "In de loop van de nacht kan er overal in het land mist ontstaan. Het verkeer kan hiervan veel hinder ondervinden. In de loop van de ochtend lost de mist weer op."
Welke fase-overgang is verantwoordelijk:
- **a** voor het ontstaan van mist?
- **b** voor het 'oplossen' van mist?

29 In de zomer gebeurt het soms dat meteen na een hevige regenbui de zon weer fel schijnt. In zo'n geval kan er een nevel ontstaan boven een asfaltweg (figuur 26).

- **a** Mensen zeggen in zo'n geval dat "de weg dampt". Maar is het wel damp wat je ziet? Leg uit.
- **b** Verklaar waardoor de nevel ontstaat. Tip: de nevel is het gevolg van twee fase-overgangen die vlak na elkaar plaatsvinden.



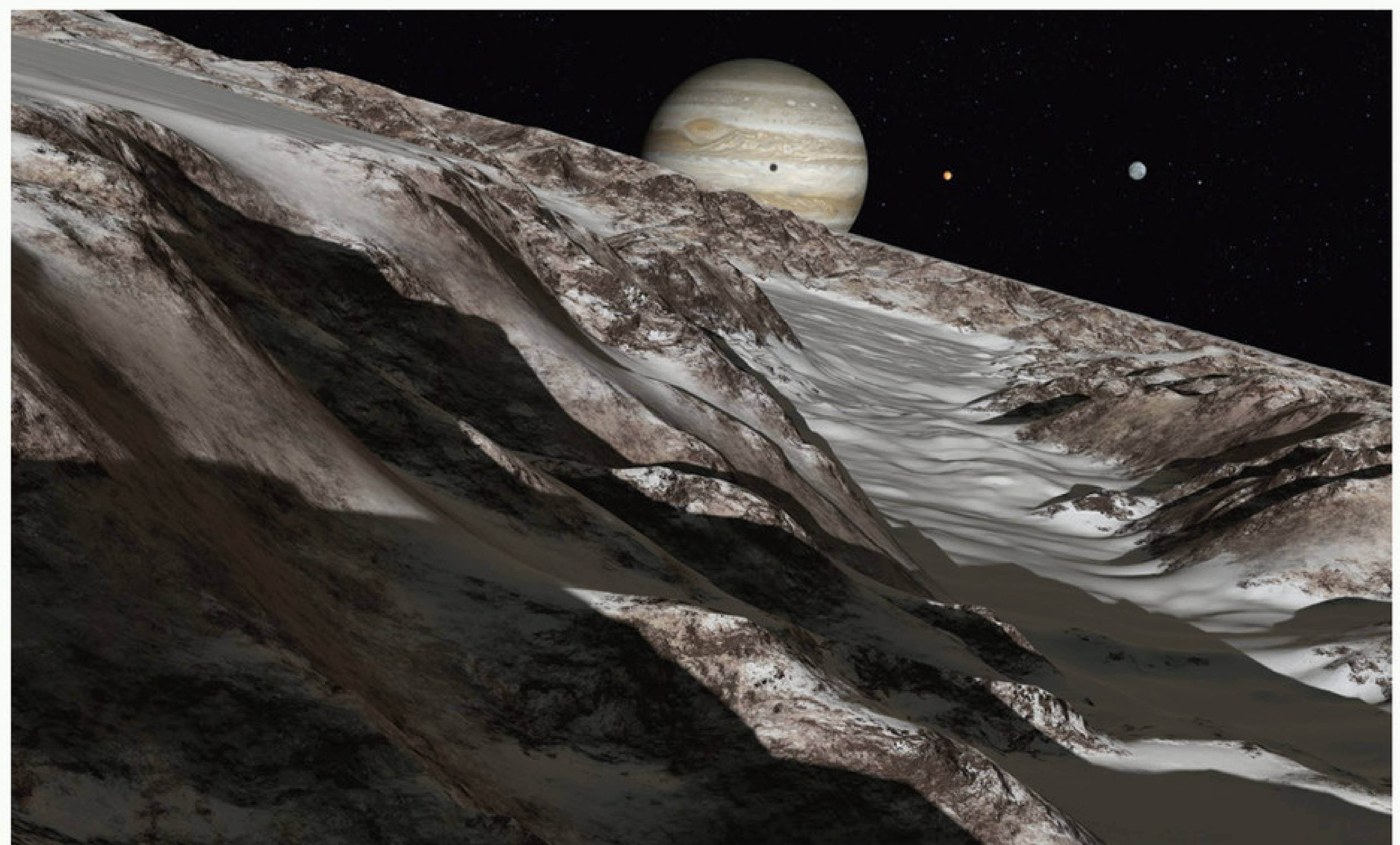
▲ **figuur 26**
Zo'n 'dampende weg' zie je bij felle zon na hevige regen.

***30** Als je een beetje ether (een vluchtige vloeistof) op een horlogeglas doet, verdampt de ether snel.

- **a** Alleen moleculen met een in verhouding hoge snelheid kunnen uit de vloeistof ontsnappen.
  Hoe komt het dat moleculen met een lagere snelheid niet uit de vloeistof weg kunnen komen?
- **b** Wat gebeurt er met de gemiddelde snelheid van de moleculen die in de vloeistof achterblijven?
  - A De gemiddelde snelheid wordt steeds groter.
  - B De gemiddelde snelheid blijft gelijk.
  - C De gemiddelde snelheid wordt steeds kleiner.
- **c** Wat betekent dat voor de temperatuur van de achterblijvende vloeistof?

***31** IJs wordt bij zeer lage temperaturen extreem hard (figuur 27).
Geef hiervoor een verklaring met behulp van het deeltjesmodel.

De grootste maan van Jupiter (en van het hele zonnestelsel) heet Ganymedes. Het oppervlak bestaat voornamelijk uit ijs. Omdat het op Ganymedes erg koud is (de temperatuur aan het oppervlak loopt uiteen van −183 tot −113 °C), is het ijs extreem hard – veel harder dan het ijs dat je op aarde tegenkomt.



▲ **figuur 27**
Een website over Ganymedes; het plaatje is een 'artist impression'.

Plus Water: een uitzondering

32 Zie de grafiek in figuur 24.

a Welke vloeistof heeft een grotere dichtheid: water van 0 °C of water van 2 °C? Licht je antwoord toe.

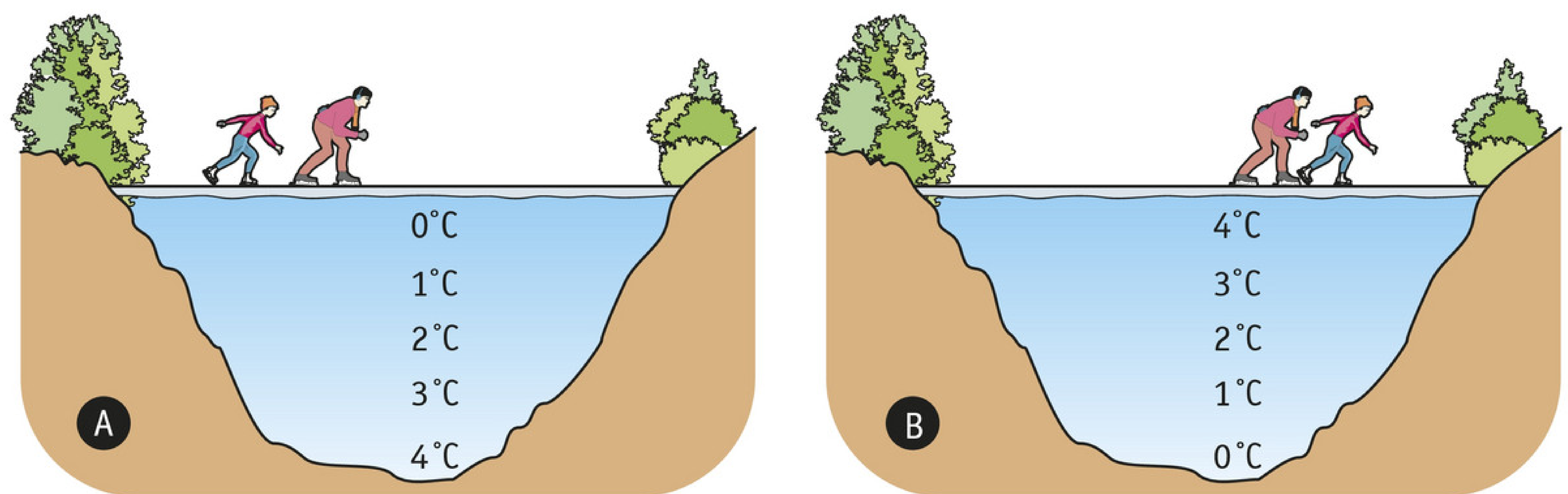
b Er is nog een temperatuur waarbij water een even grote dichtheid heeft als bij 0 °C.
Bij welke temperatuur is dat het geval?

33 Als 's winters de waterleiding bevriest, kan hij stukgaan.

a Leg uit waardoor dat komt.

b Dat de waterleiding stuk is, merk je echter pas als het gaat dooien.
Hoe komt dat?

34 In figuur 28 zie je twee mogelijke temperatuurverdelingen in een plas water in een periode waarin het al een hele tijd heeft gevroren. Er bevindt zich een laagje ijs op het water.
Leg uit welke temperatuurverdeling in het water de juiste is.



▶ **figuur 28**
Welke temperatuurverdeling is de juiste: A of B?

4 Kookpunt en smeltpunt

Van het water dat bij een regenbui naar beneden valt, is algauw niets meer te zien. Een deel wordt afgevoerd via het riool, een deel zakt in de bodem weg en een deel verdampt. Dat verdampen gaat heel onopvallend. Je ziet helemaal niets, behalve dat de hoeveelheid water langzaam afneemt. Maar water kan ook op een opvallender manier verdampen ...



▲ **figuur 29**
Als water kookt, zie je overal in de vloeistof dampbellen ontstaan.

Het kookpunt Proef 2 en 3

Als je water verwarmt, ontstaan er na een poosje kleine luchtbelletjes. De lucht die in het water is opgelost, komt dan weer tevoorschijn. Een paar minuten later verschijnen er waterdampbellen in het water. De temperatuur is dan bijna 100 °C. Deze bellen ontstaan op de bodem en verdwijnen weer voordat ze het wateroppervlak bereiken. Het geluid dat hierbij ontstaat, wordt het 'zingen' van het water genoemd.

Als de temperatuur 100 °C geworden is, bereiken de dampbellen wel het wateroppervlak. Ze barsten daar uit elkaar, zodat de waterdamp mengt met de lucht boven het water. Dat is **koken**: het water verdampt nu niet alleen aan het wateroppervlak, maar overal in de vloeistof (figuur 29).

Als je doorgaat met verwarmen, blijft het water koken tot het helemaal verdampt is. De temperatuur van het water blijft daarbij steeds 100 °C. Deze temperatuur noem je het **kookpunt** van water (je gebruikt het woord 'punt', omdat het om een vast punt op de temperatuurschaal gaat). Bijna elke zuivere stof heeft een eigen, kenmerkend kookpunt. In tabel 2 zie je enkele voorbeelden. Het kookpunt is een belangrijke stofeigenschap.

▼ **tabel 2** smeltpunt en kookpunt van enkele stoffen

stof	smeltpunt (°C)	kookpunt (°C)
alcohol	−114	78
aluminium	660	2467
butaan	−138	−0,5
glycerol	20	290
goud	1064	2860
ijzer	1559	2800
kwik	−39	357
lood	328	1740
propaan	−188	−42
stikstof	−210	−196
water	0	100
zuurstof	−219	−183

Smeltpunt en vriespunt

Als je een ijsblokjesvorm met water in het vriesvak zet, duurt het even voordat er ijs ontstaat. De temperatuur van het water in de vorm moet eerst dalen tot 0 °C. Daarna pas gaat het water bevriezen. De temperatuur van het water blijft 0 °C totdat het volledig is bevroren.



▲ **figuur 30**
Een ijsblokje 1 minuut, 5 minuten en 15 minuten nadat het uit het vriesvak is gehaald.

Als je de ijsblokjes uit het vriesvak haalt, beginnen ze ook niet meteen te smelten. Eerst moet de temperatuur van het ijs stijgen tot 0 °C. Pas als deze temperatuur is bereikt, zie je het eerste smeltwater ontstaan (figuur 30).

Smeltend ijs heeft dus dezelfde temperatuur als bevriezend water: 0 °C. Je noemt deze temperatuur het **smeltpunt** van ijs en het **vriespunt** van water. Bijna elke zuivere stof heeft een eigen, kenmerkend smeltpunt, ook wel vriespunt (of stolpunt) genoemd. In tabel 2 zie je enkele voorbeelden.

Het vriespunt of smeltpunt verlagen Proef 4

Je kunt het vriespunt van water verlagen door een geschikte stof aan het water toe te voegen. Dat gebeurt bijvoorbeeld met het koelwater in een automotor. Daaraan wordt antivries toegevoegd om te voorkomen dat het ’s winters bevriest. Hoe meer antivries je toevoegt, des te lager wordt het vriespunt van het mengsel.

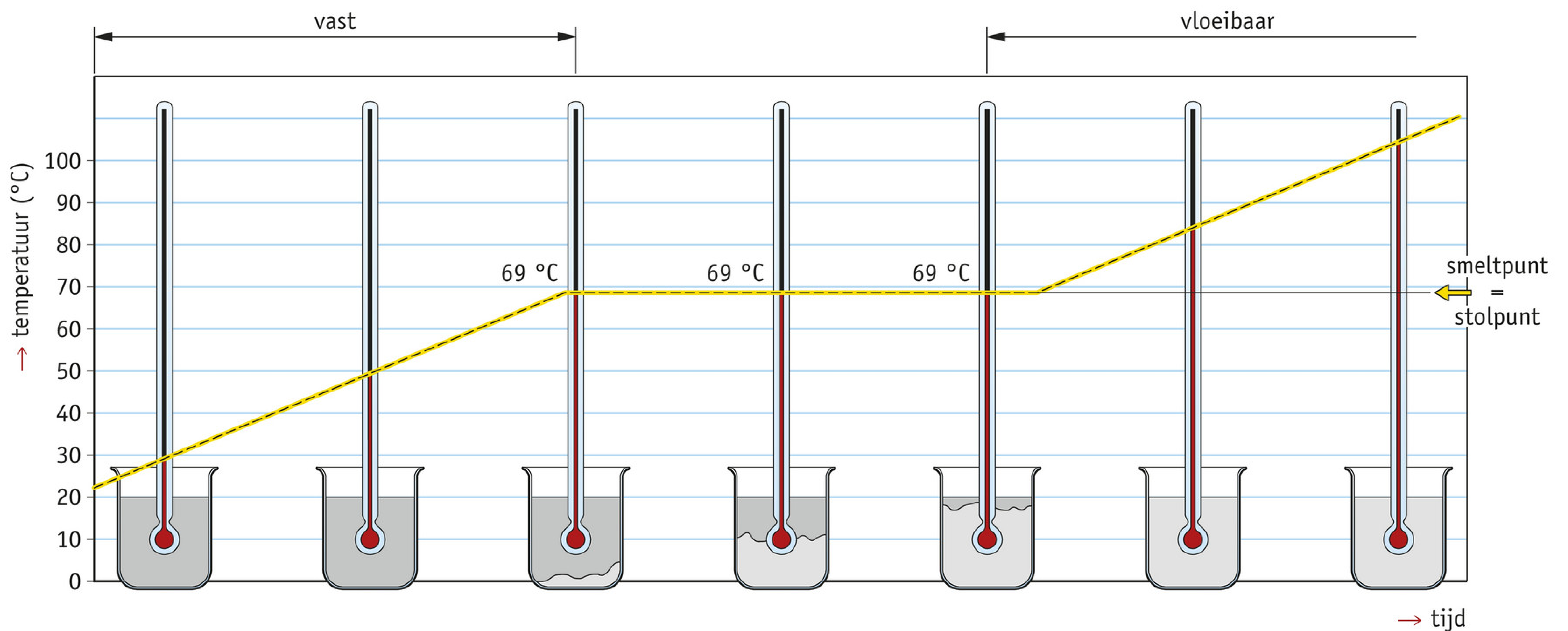
Zout heeft hetzelfde effect op het vriespunt als antivries. Het wordt ’s winters gebruikt om wegen te ontdoen van sneeuw en ijs (figuur 31). Een mengsel van ijs en zout heeft een lager smeltpunt dan zuiver ijs. Door zout te strooien, kun je sneeuw of ijzel laten smelten bij temperaturen onder nul. In de praktijk is wegenzout effectief bij temperaturen tot –8 °C.



▶ **figuur 31**
Strooizout laat de sneeuw op het wegdek smelten.

Smelt- en stoldiagrammen

In figuur 32 is getekend hoe je het smeltpunt van een vaste stof bepaalt. Je verwarmt de stof voorzichtig en ondertussen meet je de temperatuur met regelmatige tussenpozen. In figuur 32 is dat gedaan met stearinezuur. Dat is een stof die onder andere gebruikt wordt om kaarsen van te maken (figuur 33).



▲ **figuur 32**
het smeltdiagram van stearinezuur

Als je vast stearinezuur verwarmt, stijgt de temperatuur eerst tot 69 °C: het smeltpunt van stearinezuur. Bij die temperatuur gaat het stearinezuur smelten. Als je doorgaat met verwarmen, blijft de temperatuur 69 °C totdat alle stearinezuur is gesmolten. Pas daarna stijgt de temperatuur weer. In figuur 32 is het temperatuurverloop weergegeven in een **smeltdiagram**: een grafiek van de temperatuur tegen de tijd.

Als je vloeibaar stearinezuur laat afkoelen, daalt de temperatuur weer tot 69 °C: het stolpunt van stearinezuur. De temperatuur blijft 69 °C totdat het stearinezuur volledig is gestold. Daarna daalt de temperatuur verder. Je kunt het temperatuurverloop weergeven in een **stoldiagram**, waarin de temperatuur is uitgezet tegen de tijd.



◀ **figuur 33**
Kaarsen bestaan voor een groot deel uit stearinezuur.

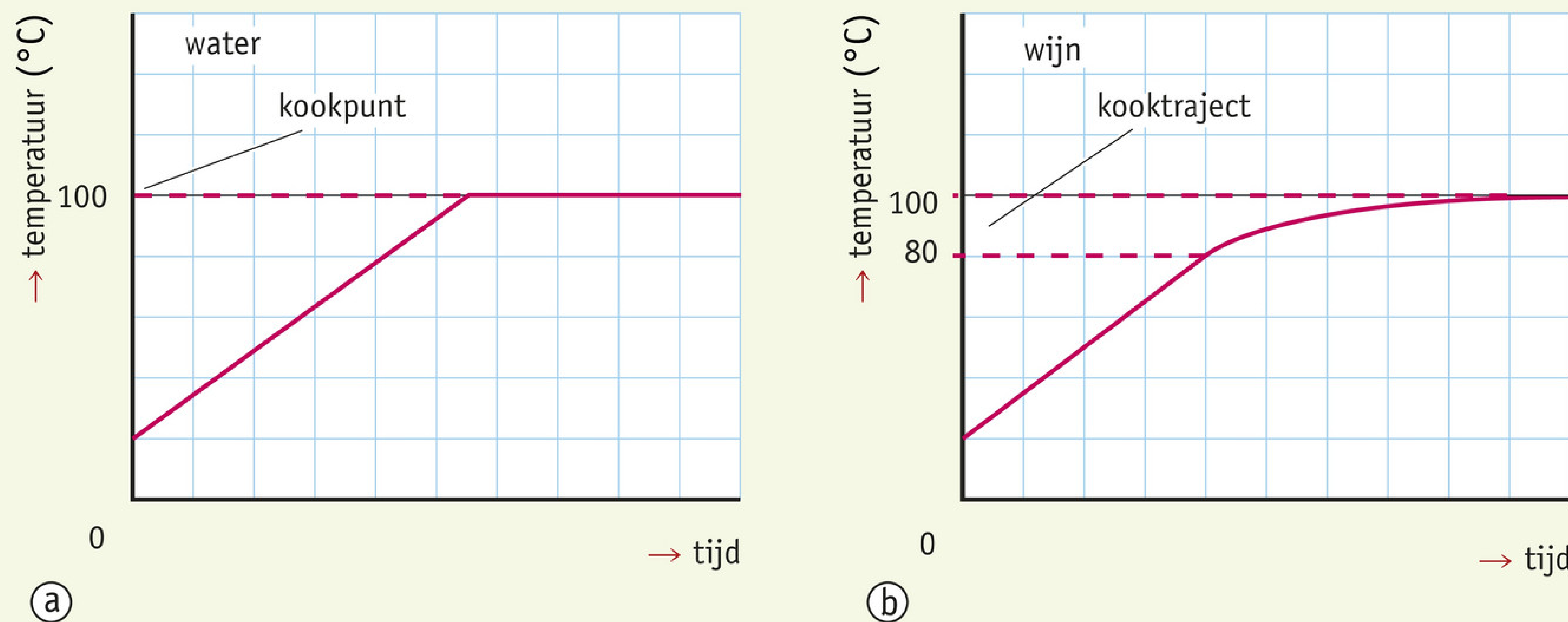
Plus Het kooktraject van een mengsel

Wijn is een mengsel van voornamelijk water en alcohol. Het aandeel overige stoffen kun je in de praktijk verwaarlozen. Een fles wijn bevat ongeveer 12 volume-procent (12 vol%) alcohol. Dat betekent dat 100 mL wijn bestaat uit circa 12 mL alcohol en 88 mL water.

Als je wijn aan de kook brengt, zie je dat het koken begint bij ongeveer 80 °C. Daarna loopt de temperatuur langzaam op tot 100 °C (figuur 34b). Wijn heeft dus geen kookpunt, zoals zuiver water (100 °C) of zuivere alcohol (78 °C). Tijdens het koken blijft de temperatuur van de wijn niet constant.

Wat voor wijn geldt, geldt ook voor andere mengsels van vloeistoffen. Zulke mengsels hebben geen kookpunt, maar een kooktraject. Het **kooktraject** van wijn loopt van 80 tot 100 °C.

▼ **figuur 34**
Water heeft een kookpunt (a), wijn een kooktraject (b).



opgaven **Leerstof**

35 Neem over en vul in.
- **a** Smeltend ijs heeft een temperatuur van … Deze temperatuur heet het … van water of het … van ijs.
- **b** Een mengsel van ijs en zout heeft een … smeltpunt dan zuiver ijs.
- **c** Kokend water heeft een temperatuur van … Deze temperatuur heet het … van water.

36 Vergelijk het koken van een ketel water en het verdampen van een plas water met elkaar.
- **a** Hoe verandert het water in deze twee situaties van fase?
- **b** Leg voor beide situaties uit waar de fase-overgang plaatsvindt.
- **c** Waaraan kun je zien dat water kookt en niet ‘gewoon’ verdampt?

37 Leg uit wat antivries is en wat je ermee doet. Gebruik het woord 'vriespunt' in je uitleg.

Toepassing

38 Jeroen is rijst aan het koken. Als het water begint te koken, draait hij het gas laag. Het water kookt dan zachtjes verder.
- **a** Hoe hoog is de temperatuur van het kokende water?
- **b** Duurt het langer voor de rijst gaar is, als je het gas laag draait?
- **c** Waarom is het verstandig het gas laag te draaien?

39 Bij deze opgave heb je werkblad 3-2 nodig.
Peter verwarmt een vloeistof. Hij neemt om de halve minuut de temperatuur van de vloeistof op. Zijn waarnemingen staan in tabel 3.
- **a** Zie vaardigheid 13 achter in het boek.
  Teken op het werkblad een grafiek van Peters waarnemingen, met de tijd langs de horizontale en de temperatuur langs de verticale as.
- **b** Hoe hoog is het kookpunt van de vloeistof?
- **c** Om welke vloeistof zou het kunnen gaan?

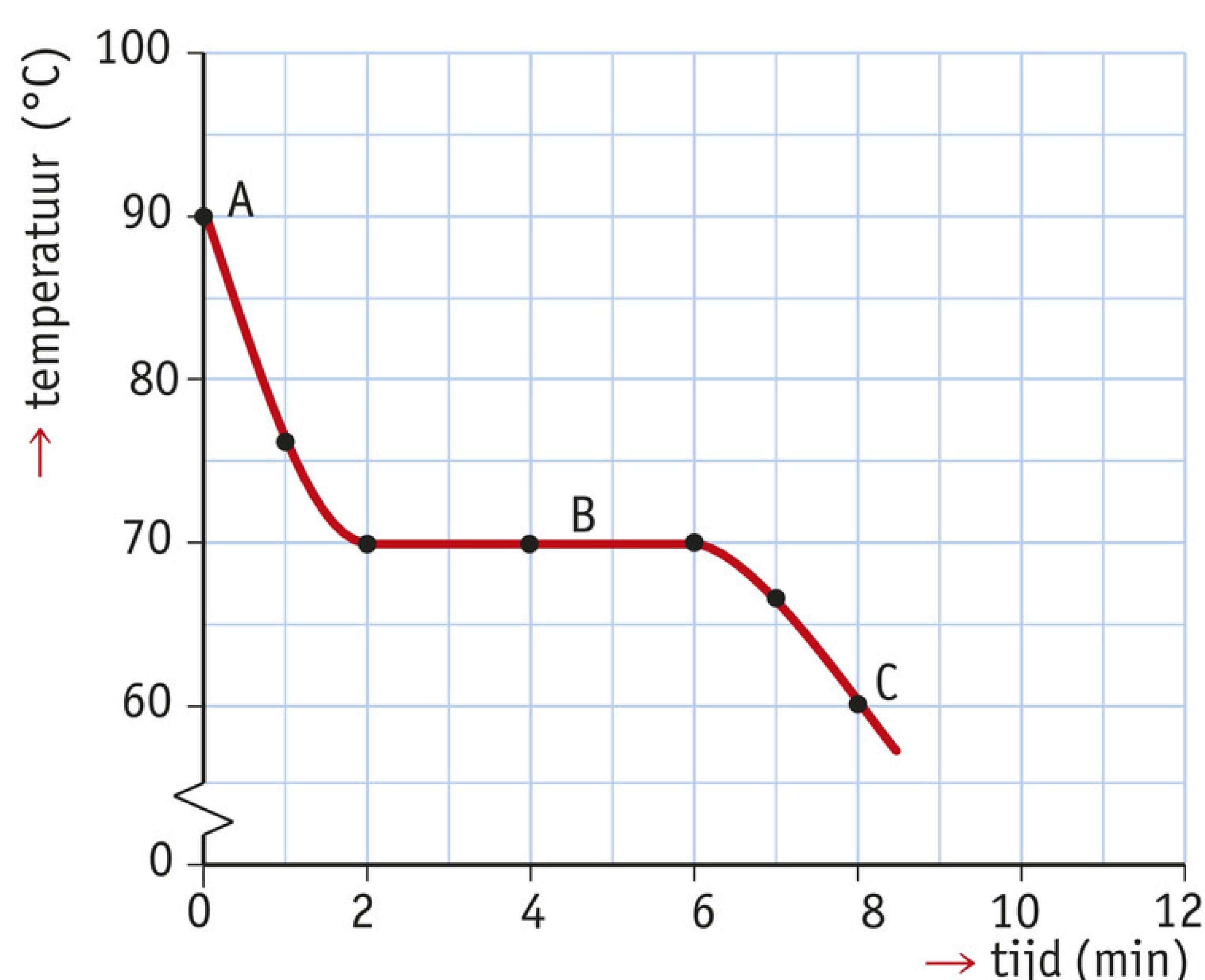
▼ **tabel 3** de meetresultaten van Peter

tijd (min)	temperatuur (°C)
0	20
0,5	33
1,0	46
1,5	58
2,0	68
2,5	75
3,0	77
3,5	78
4,0	78
4,5	78

40 Zoek op internet informatie over het metaal gallium.
- **a** Hoe ziet het metaal gallium eruit bij kamertemperatuur?
- **b** Hoe hoog zijn het smeltpunt en kookpunt van dit metaal (in graden Celsius)?
- **c** Wat is er bijzonder aan het smeltpunt en kookpunt van gallium? Tip: vergelijk de gevonden waarden met het smeltpunt en kookpunt van andere metalen.
- **d** In feestwinkels kun je theelepeltjes van gallium kopen. Wat gebeurt er als je je warme thee met zo'n lepeltje doorroert? Tip: kijk ook eens op YouTube.

41 In de winter wordt er soms zout gestrooid op een bevroren wegdek. Het ijslaagje smelt dan.
Is de temperatuur van het smeltwater dan hoger dan, lager dan of gelijk aan 0 °C? Licht je antwoord toe.

▼ **figuur 35**
de grafiek van Allette



42 Allette heeft een hoeveelheid stearine gesmolten. Ze laat de stearine vervolgens langzaam afkoelen, terwijl ze om de minuut de temperatuur opneemt. Na de proef maakt ze een grafiek van haar waarnemingen (figuur 35).
- **a** Hoe noem je het soort grafiek dat Allette gemaakt heeft?
- **b** In welke fase is de stearine bij A? En bij C?
- **c** Gedurende welk gedeelte van de proef is er zowel vloeibare als vaste stearine aanwezig?
- **d** Hoe hoog is het stolpunt van de stearine?

43 Yemi doet dezelfde proef als Allette, maar gebruikt een twee keer zo grote hoeveelheid stearine. Zij maakt ook een grafiek van haar waarnemingen.

a Welke van de drie grafieken in figuur 36 zou die van Yemi kunnen zijn? Ga ervan uit dat zowel Yemi als Allette geen fouten heeft gemaakt bij het uitvoeren van de proef.

b Verklaar je keuze.

▼ **figuur 36**
Welke grafiek is juist?

ⓐ
↑ temperatuur (°C): 0, 60, 70, 80, 90, 100
→ tijd (min): 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12

ⓑ
↑ temperatuur (°C): 0, 60, 70, 80, 90, 100
→ tijd (min): 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12

ⓒ
↑ temperatuur (°C): 0, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
→ tijd (min): 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12



***44** Bij een demonstratie wordt vloeibaar stikstof uit een dewarvat (een soort thermosfles) in een bekerglas geschonken (figuur 37).

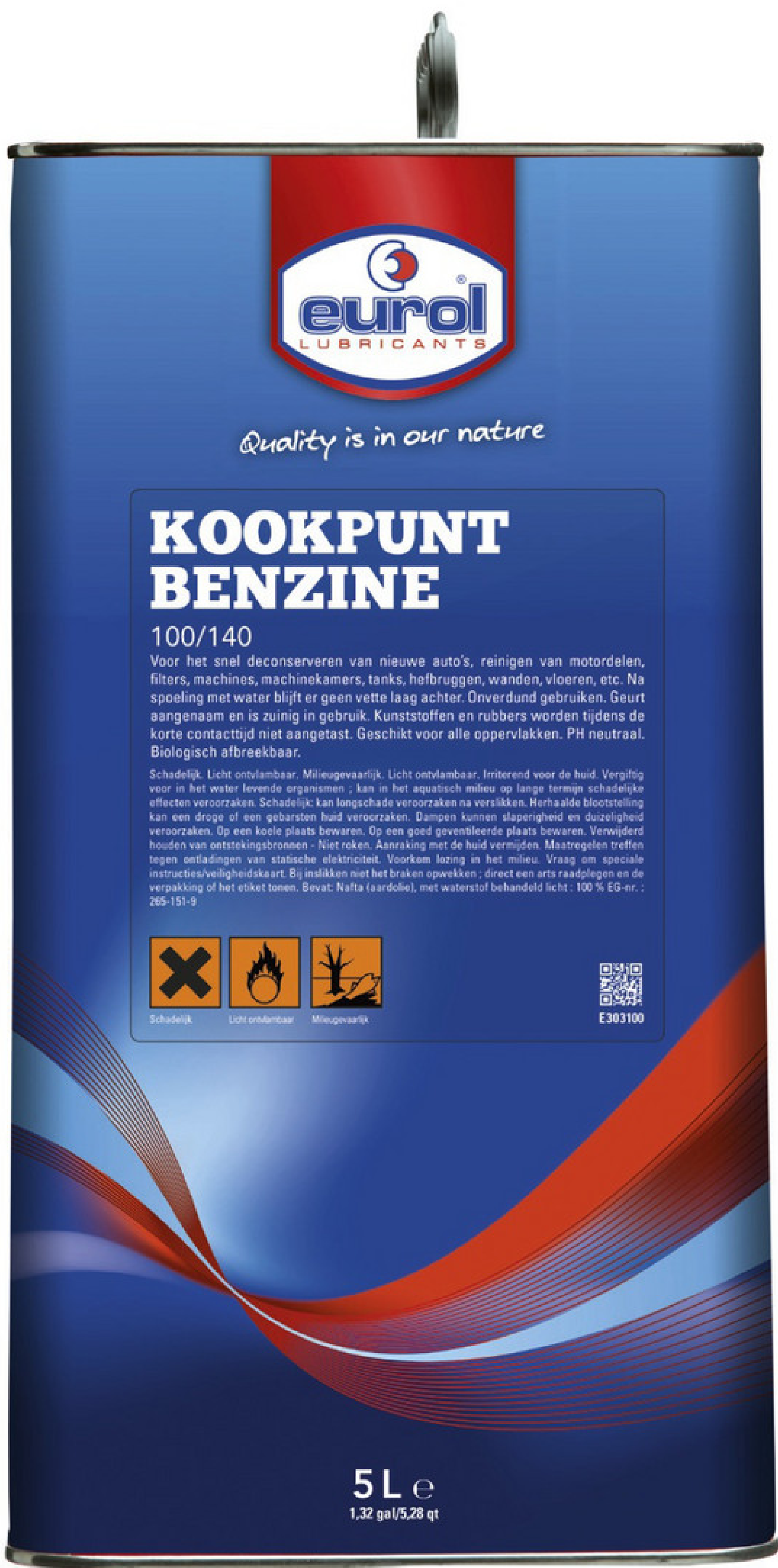
a Hoe komt het dat de stikstof meteen 'uit zichzelf' begint te koken?

b Welke temperatuur heeft de kokende stikstof in het bekerglas?

c Waaruit bestaat de witte nevel die rond het bekerglas ontstaat?

d Op het bekerglas ontstaat ijsaanslag. Verklaar hoe dat komt.

◀ **figuur 37**
een demonstratie met vloeibare stikstof



▲ **figuur 38**
een blik wasbenzine

Plus Het kooktraject van een mengsel

45 Op een blik wasbenzine staat: 100/140. Deze getallen geven het kooktraject van de wasbenzine (in graden Celcius) aan (figuur 38).

a Het opschrift op het blik is eigenlijk onjuist.
Wat zou het dan wel moeten zijn?

b Als je wasbenzine verwarmt, begint de benzine na enkele minuten te koken.
Wat zal een thermometer aangeven die je op dat moment in de benzine houdt?

c Wat zal de thermometer aangeven als bijna alle benzine is verdampt?

d Het bepalen van het kooktraject van wasbenzine is niet moeilijk. Toch wordt deze proef nooit op school uitgevoerd.
Noteer twee redenen waarom deze proef niet op school gedaan mag worden (zelf bedenken).

46 Bij deze opgave heb je werkblad 3-3 nodig.
Orhan smelt een hoeveelheid bijenwas in een reageerbuis. Ondertussen meet hij de temperatuur. In tabel 4 zie je zijn meetresultaten.

a Teken het smeltdiagram van deze proef op het werkblad.

b Na hoeveel minuten begint de bijenwas te smelten?

c Hoe hoog is dan de temperatuur?

d Na hoeveel minuten is alle bijenwas gesmolten?

e Hoe hoog is dan de temperatuur?

f Is bijenwas een zuivere stof of een mengsel? Waaraan zie je dat?

▼ **tabel 4** de meetresultaten van Orhan

tijd (min)	temperatuur (°C)
0	20
1	31
2	40
3	43
4	46
5	49
6	51
7	54
8	57
9	60
10	71
11	83

Practicum

Proef 1 Een vloeistofthermometer ijken 30 min

Inleiding
Een vloeistofthermometer heeft een reservoir en een stijgbuis, met daarlangs een schaalverdeling in graden Celsius, waarop je de temperatuur afleest.

Doel
Bij deze proef ga je een thermometer van zo'n schaalverdeling voorzien.

Nodig
- crêpe-tape
- bekerglas
- stukjes ijs
- thermometer zonder schaalverdeling
- gewone thermometer
- brander
- driepoot
- gaasje
- lucifers/aansteker

Uitvoeren en uitwerken
Het nulpunt bepalen
- Plak een smal strookje crêpe-tape vlak naast de stijgbuis.
- Doe de stukjes ijs in het bekerglas Zet de thermometer erin. Het reservoir moet aan alle kanten omringd zijn met ijsblokjes (figuur 39).
- Wacht twee minuten. Zet dan op het crêpe-tape een potloodstreepje op de plaats waar de alcohol staat.
- Haal de thermometer uit het ijs en schrijf het cijfer 0 bij het streepje.

Het honderdpunt bepalen
- Vul het bekerglas voor een derde met water. Breng het water met behulp van de brander aan de kook.
- Zet de thermometer in het bekerglas. Laat de thermometer een minuut in het kokende water staan. Zet dan een potloodstreepje op het crêpe-tape op de plaats waar de vloeistof staat.
- Haal de thermometer uit het water. Doe de brander uit. Schrijf bij het streepje dat je net hebt gezet, het cijfer 100.

IJken en meten
- Verdeel de ruimte tussen 0 en 100 met behulp van streepjes in tien gelijke delen. Zet bij die streepjes de getallen 10 tot en met 90.
- Meet de temperatuur in het lokaal met de thermometer waarvoor je een schaalverdeling hebt gemaakt. Probeer de temperatuur tot op één graad nauwkeurig te bepalen. Meet daarna de temperatuur in het lokaal nog eens, maar nu met een gewone thermometer.

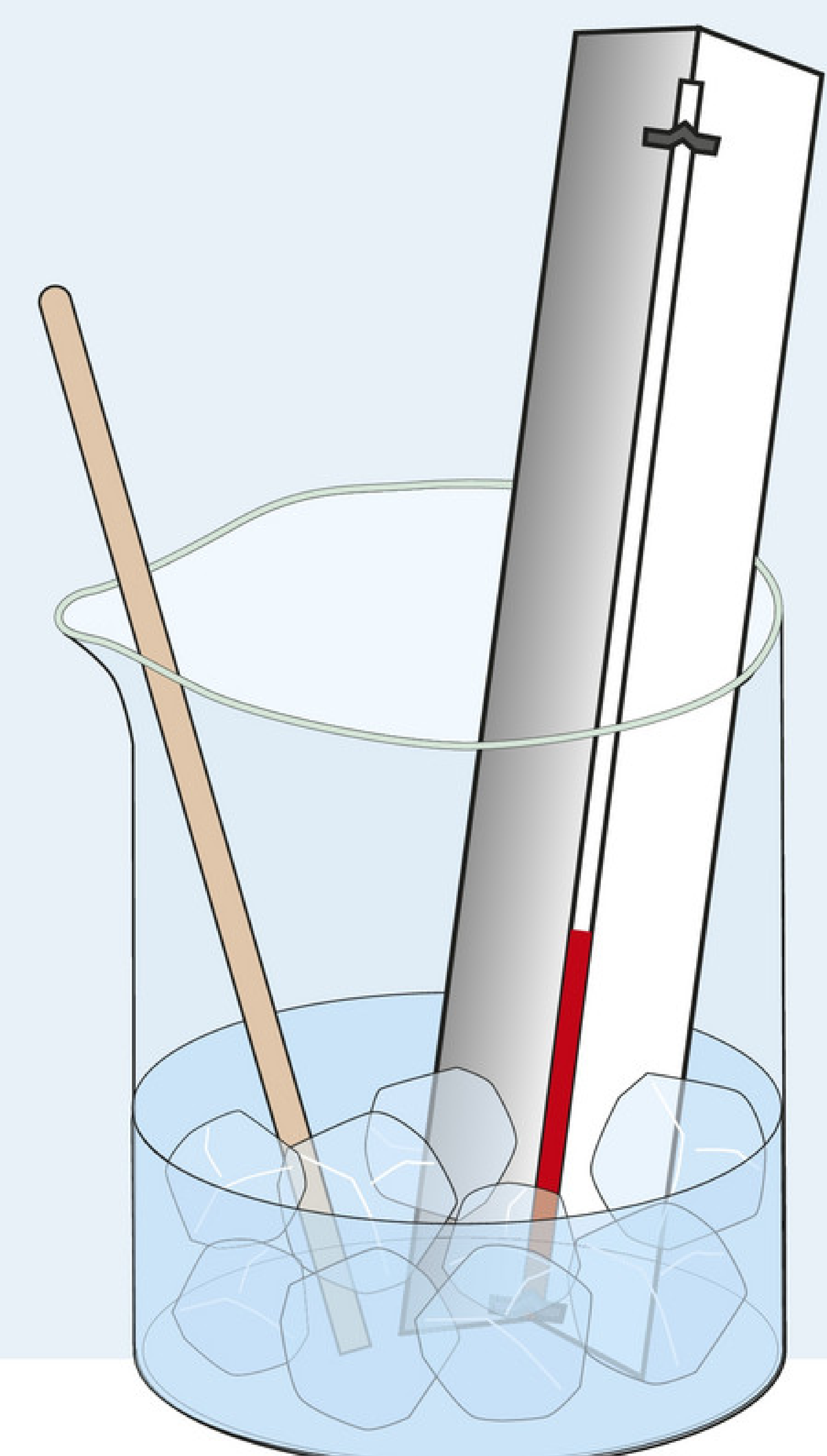
1 Welke temperatuur geeft elke thermometer aan?

- Meet op dezelfde manier met beide thermometers de temperatuur van kraanwater, meteen nadat het uit de kraan komt.

2 Welke temperatuur geeft elke thermometer aan?

- Meet ook met beide thermometers de temperatuur van je lichaam. Houd het reservoir elke keer 30 seconden onder je oksel, voor je de temperatuur afleest.

3 Welke temperatuur geeft elke thermometer aan?
4 Kun je met de thermometer waarvoor je een schaalverdeling gemaakt hebt, redelijk nauwkeurig de temperatuur meten?



▶ **figuur 39** de thermometer in ijswater

Proef 2 Water koken 30 min

Inleiding
Als je een stof verwarmt, gaat de temperatuur van die stof stijgen. Dat zie je bijvoorbeeld als je water aan de kook brengt voor een kop thee.

Doel
Bij deze proef ga je zelf onderzoeken hoe de temperatuur verandert.
De onderzoeksvraag luidt:
Hoe verandert de temperatuur van water als je het water aan de kook brengt?

Nodig
- bekerglas
- thermometer
- horloge
- brander
- driepoot
- gaasje
- lucifers/aansteker
- werkblad 3-4

Uitvoeren en uitwerken
Werkverdeling
Deze proef doe je in tweetallen:
– Leerling 1 leest de temperatuur af op de thermometer.
– Leerling 2 houdt de tijd bij en noteert de meetresultaten.

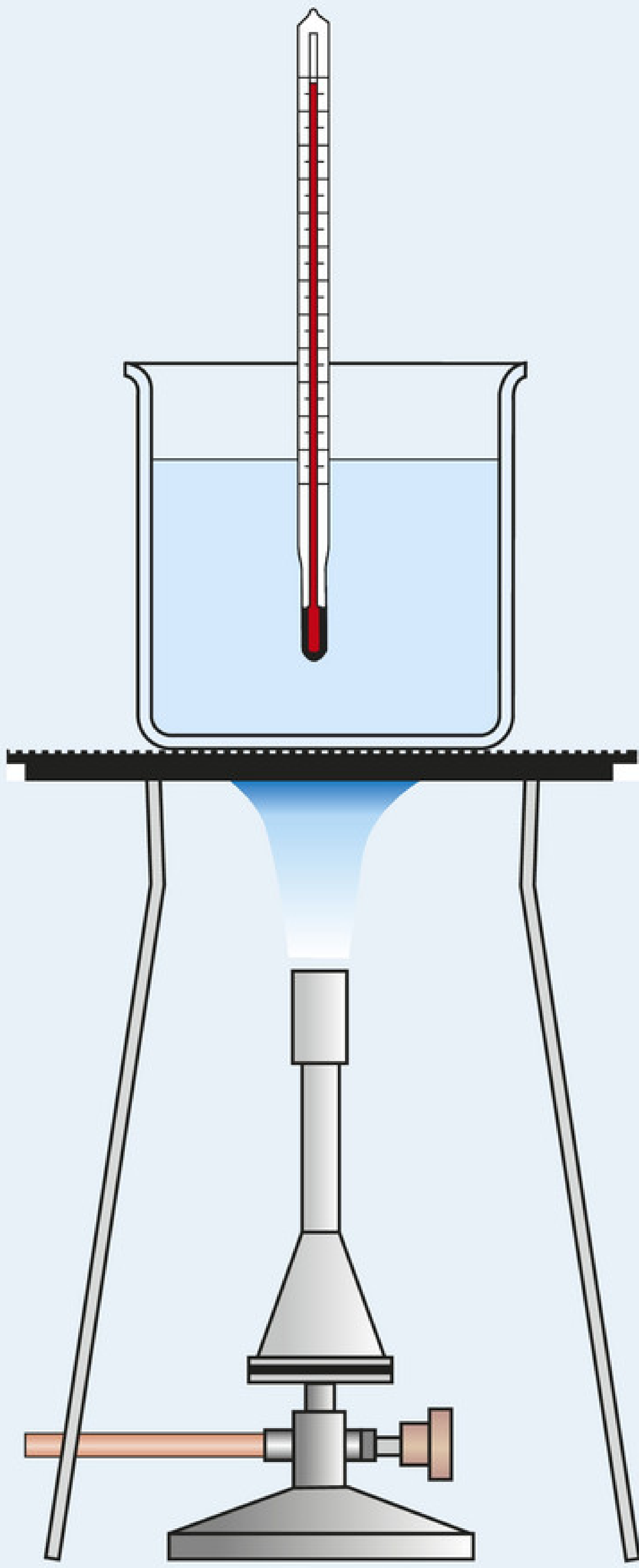
Voorbereiden
– Doe precies 100 mL water in het bekerglas. Maak daarna de opstelling die in figuur 40 is getekend.

1 Neem tabel 5 over in je schrift.
Noteer de temperaturen die je afleest, in de tabel.

▼ **tabel 5** de meetresultaten van proef 2

tijd (min)	temperatuur (°C)
0,0	
0,5	
1,0	
1,5	
enz.	

– Meet de begintemperatuur van het water.
– Steek de brander aan zoals je dat hebt geleerd. Draai de gasregelknop half open.
– Draai de luchtregelknop zover open dat je een vlam krijgt die rustig brandt (zonder veel lawaai te maken).
– Schuif de brander onder het bekerglas op de driepoot (figuur 40).



▲ **figuur 40**
de opstelling van proef 2

– Lees om de dertig seconden de thermometer af. Houd het reservoir van de thermometer tijdens het meten ongeveer 1 cm boven de bodem van het bekerglas.
– Op een gegeven moment gaat het water koken. Doe daarna nog vier metingen.
– Doe de brander uit na de laatste meting.

2 Waaraan kon je zien dat het water kookte?

– Bekijk hoeveel water er nog in het bekerglas zit.

3 Is er water uit het bekerglas verdwenen? Zo ja, waar is dat water gebleven?

Uitwerken

4 Pak werkblad 3-4 erbij. Teken daarop de grafiek van deze proef.
   a Teken eerst je meetresultaten in als een serie punten. Zie vaardigheid 13 achter in het boek.
   b Trek daarna een vloeiende lijn die zo goed mogelijk bij de meetpunten aansluit. Je mag dus niet met een liniaal de punten één voor één met elkaar verbinden.

Proef 3 Het kookpunt van alcohol 20 min

Inleiding

Elke zuivere stof heeft een kookpunt. Dat is de temperatuur waarbij die stof kookt. Het kookpunt is een stofeigenschap die voor elke stof verschillend is. Je kunt aan het kookpunt een stof dus herkennen.

Doel

Bij deze proef ga je het kookpunt van zuivere ethanol (= gewone alcohol) bepalen. Omdat ethanol erg brandbaar is, doe je de proef op een speciale manier.

Nodig

- bekerglas
- reageerbuis met ethanol
- thermometer
- horloge
- gasbrander
- driepoot
- gaasje
- lucifers/aansteker

Uitvoeren en uitwerken

Voorbereiden

– Doe 200 mL water in het bekerglas.
– Verwarm het water met de brander. Gebruik een blauwe vlam die rustig brandt (zonder veel lawaai te maken).
– Wacht tot het water kookt. Doe dan de brander uit.
– Wacht tot je docent ook de hoofdkraan heeft dichtgedraaid.

Meten

– Zet de thermometer in de ethanol in de reageerbuis.
– Zet de reageerbuis met ethanol in het hete water.
– Lees de temperatuur af tot deze niet meer verandert.

1 Hoe verandert de temperatuur van de ethanol tijdens de proef?
2 Wat zie je aan de ethanol als de temperatuur niet meer stijgt?
3 Hoe hoog is het kookpunt van ethanol volgens deze proef?

– Ruik vlak bij de opstelling en let op de geur die je daar waarneemt.

4 Probeer die geur te omschrijven.
5 Wat is er met de ethanol dus gebeurd?

Proef 4 Een koud makend mengsel 15 min

Inleiding
Als het 's zomers warm is, willen veel mensen graag een lekker koud ijsje eten. Als je ijs wilt maken, moet je ervoor zorgen dat de ingrediënten koud genoeg worden om te kunnen bevriezen. Daar bestaan speciale ijsmachines voor, maar je kunt ook gebruikmaken van een koudmakend mengsel.

Doel
Bij deze proef zie je hoe je met een mengsel van zout en ijs de temperatuur kunt laten dalen tot ver onder 0 °C.

Nodig
- bekerglas met 150 mL fijngestampt ijs
- thermometer
- keukenzout
- schepje
- reageerbuis
- ranja
- roerstaafje

Uitvoeren en uitwerken
– Meet de temperatuur van het smeltende ijs en noteer deze.

– Doe drie flinke scheppen zout bij het ijs en roer het mengsel kort.

1 Wat zie je gebeuren als je het zout toevoegt en roert?

– Zet de thermometer meteen weer in het mengsel van ijs en zout.

2 Noteer iedere 15 seconden de temperatuur. Ga hiermee door tot de temperatuur niet meer verandert.

– Doe een beetje ranja (ongeveer zo hoog als de dikte van een wijsvinger) in de reageerbuis en zet deze in het smeltende ijs.

3 Wat gebeurt er met de ranja? Hoe komt dat?

Thuisopdracht
4 Zoek op internet een recept voor roomijs. Leg uit hoe je met een koudmakend mengsel roomijs kunt maken.

Proef 5 Verdamping en de gevoelstemperatuur 15 min

Inleiding
Als je 's zomers uit het zwembad stapt, merk je dat de wind invloed heeft op de temperatuur die jij voelt. Als het windstil is, voelt het warmer aan dan als het flink waait. Dat komt doordat het water op je huid door de wind sneller verdampt.

Doel
Je gaat bij deze proef onderzoeken welke invloed verdamping heeft op de gevoelstemperatuur (= de temperatuur zoals jij die ervaart).

Nodig
- druppelflesje met water
- druppelflesje met ethanol
- druppelflesje met nagellakoplosser

Uitvoering en verwerking
– Doe een druppel water op de bovenkant van je onderarm.
– Blaas tot de druppel is verdampt.
– Doe een even grote druppel ethanol op je arm.
– Blaas tot de druppel is verdampt.
– Doe een even grote druppel nagellakoplosser op je arm.
– Blaas tot de druppel is verdampt.

1 Wat voelde je tijdens het verdampen?
2 Welke vloeistof verdampt het snelst?
3 Welke vloeistof voelde het koudst aan?
4 Welk verband is er tussen het verdampen van vloeistoffen en de gevoelstemperatuur?

Proef 6 Een onderzoek uitvoeren: afkoelen door verdampen 30 min

Inleiding

Stel je voor: een producent van laboratorium-apparatuur wil een koelapparaat ontwerpen waarmee extreem lage temperaturen bereikt kunnen worden. Aan de ontwerper is gevraagd om gebruik te maken van het afkoelende effect dat snel verdampende vloeistoffen hebben. De vraag is nu met welke vloeistof de laagste temperatuur bereikt kan worden. Daarvoor wordt de afdeling research ingeschakeld. Jij bent bij deze opdracht de wetenschapper die het onderzoek moet uitvoeren.

Doel

Bij deze proef ga je onderzoeken hoe ver je de temperatuur kunt laten dalen met drie verdampende vloeistoffen: water, ethanol en nagellakoplosser. Je moet de drie vloeistoffen zo eerlijk mogelijk met elkaar vergelijken.

Nodig

Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken

– Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Wat ga je meten, welke practicumspullen heb je nodig, hoe kun je elke vloeistof onder precies dezelfde omstandigheden testen?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

– De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
– Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

– Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

Proef 7 Een ontwerp maken: de regenmeter 90 min

Inleiding
Stel je voor: jouw school gaat een weerproject doen, waarbij de leerlingen zelf gegevens verzamelen over het weer. Een van die weergegevens is de hoeveelheid neerslag die er de afgelopen 24 uur is gevallen. Het is de bedoeling dat de leerlingen hiervoor zelf een betrouwbare regenmeter maken. Jij krijgt de opdracht om een ontwerp van zo'n meter te maken.

Doel
Bij deze proef ga je een regenmeter ontwerpen, bouwen en ijken. Je prototype moet aan de volgende ontwerpeisen voldoen:

Ontwerpeisen
- De regenmeter is gemaakt van materialen die weinig of niets kosten. Op internet kun je hier ideeën voor vinden.
- Op de schaalverdeling kan het aantal millimeter regen afgelezen worden dat sinds de laatste meting gevallen is. (Dat is hoe hoog het water zou staan, als de regen niet zou wegstromen, verdampen of in de bodem wegzakken.)
- De regenmeter 'vergroot' de stijging van het water minstens 5 keer: als er 1 mm regen valt, stijgt het water in de regenmeter minstens 5 mm.
- De regenmeter kan na een meting weer gemakkelijk 'op nul' gezet worden.
- De regenmeter staat stabiel en zit stevig in elkaar. Je kunt er zonder problemen twee weken lang metingen mee doen, ook bij slecht weer.
- De schaalverdeling van de meter is geijkt: je hebt gecontroleerd of de streepjes en de getallen juist zijn aangebracht.

Nodig
Bij deze opdracht bedenk je zelf welke spullen je nodig hebt. Overleg indien nodig met je docent.

Uitvoeren en uitwerken
- Bedenk hoe je de opdracht kunt uitvoeren. Uit welke onderdelen bestaat jouw meter, welke spullen heb je nodig, hoe kun je testen of de schaalverdeling klopt?

1 Maak een werkplan voor deze opdracht.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
- Bouw de regenmeter en ijk hem zorgvuldig.

2 Maak een testverslag met daarin:
- **a** een duidelijke bouwtekening van de regenmeter;
- **b** de tests die je hebt uitgevoerd en de resultaten daarvan;
- **c** eventuele veranderingen die je in het ontwerp hebt aangebracht.

Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.

1 Hieronder staan vijf soorten neerslag.
dauw – hagel – regen – rijp – sneeuw
- **a** Bij welke soorten neerslag is het water vloeibaar?
- **b** Bij welke soorten neerslag is het water vast?

2 Wim zegt: “Mist bestaat uit waterdruppeltjes.”
Joyce zegt: “Mist bestaat uit waterdamp.”
Wie heeft er gelijk?
- A Ze hebben beiden gelijk.
- B Geen van beiden heeft gelijk.
- C Alleen Wim heeft gelijk.
- D Alleen Joyce heeft gelijk.

3 José ademt op het raam: het raam beslaat.
Hoe heet de fase-overgang:
- **a** waardoor er een vochtige plek ontstaat op het raam?
- **b** waardoor deze vochtplek even later weer verdwijnt?

4 Sneeuwvlokken bestaan uit ijskristallen. Hieronder staan twee beweringen over de moleculen in zo’n kristal.
- I De moleculen hebben allemaal hun eigen vaste plaats.
- II De moleculen bewegen helemaal niet: ze staan stil.

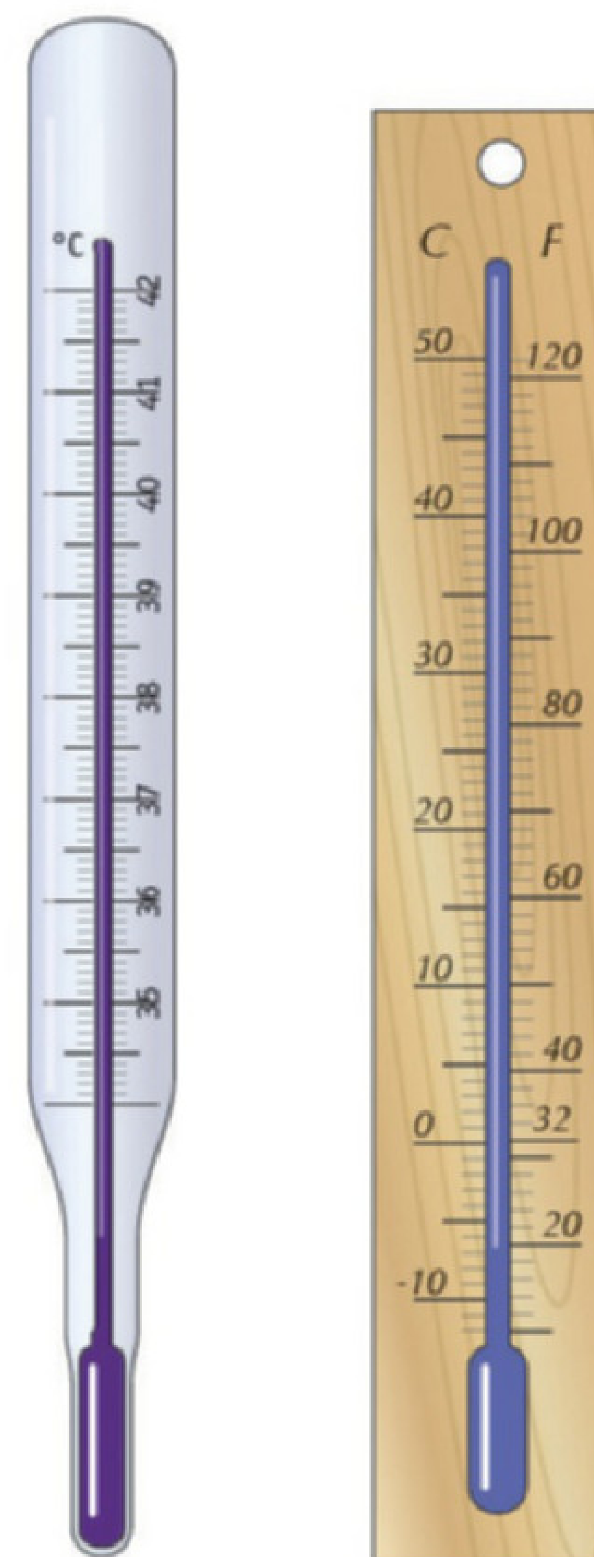
Welke van deze beweringen is of zijn juist?
- A geen van beide
- B alleen I
- C alleen II
- D zowel I als II

5 Hans heeft twee vloeistofthermometers. Thermometer A heeft dezelfde afmeting als thermometer B. In A zit een vloeistof die per graad meer uitzet dan de vloeistof in thermometer B.
Op welke thermometer kun je de temperatuur het nauwkeurigst aflezen?

6 Keran heeft op een thermometer zonder schaalverdeling het nulpunt (0 °C) en het honderdpunt (100 °C) aangegeven. De twee streepjes staan 12 cm uit elkaar.
Hoeveel centimeter ligt het streepje van −20 °C onder het streepje van 0 °C?

7 Vervolg van vraag 6.
Als Keran zijn zelfgemaakte thermometer in water van onbekende temperatuur plaatst, stijgt de alcohol tot op 5,4 cm boven 0 °C.
Reken uit welke temperatuur dit water had.

8 In figuur 41 zie je twee thermometers.
- **a** Welke thermometer heeft het grootste meetbereik?
- **b** Welke thermometer geeft de temperatuur het nauwkeurigst aan?



▲ **figuur 41**
een koortsthermometer en een buitenthermometer

9 Fase-overgangen spelen een belangrijke rol in het weer.
Bij welke fase-overgang:
- **a** kun je (vloeibaar) water ‘in het niets’ zien verdwijnen?
- **b** kun je ijskristallen ‘uit het niets’ tevoorschijn zien komen?

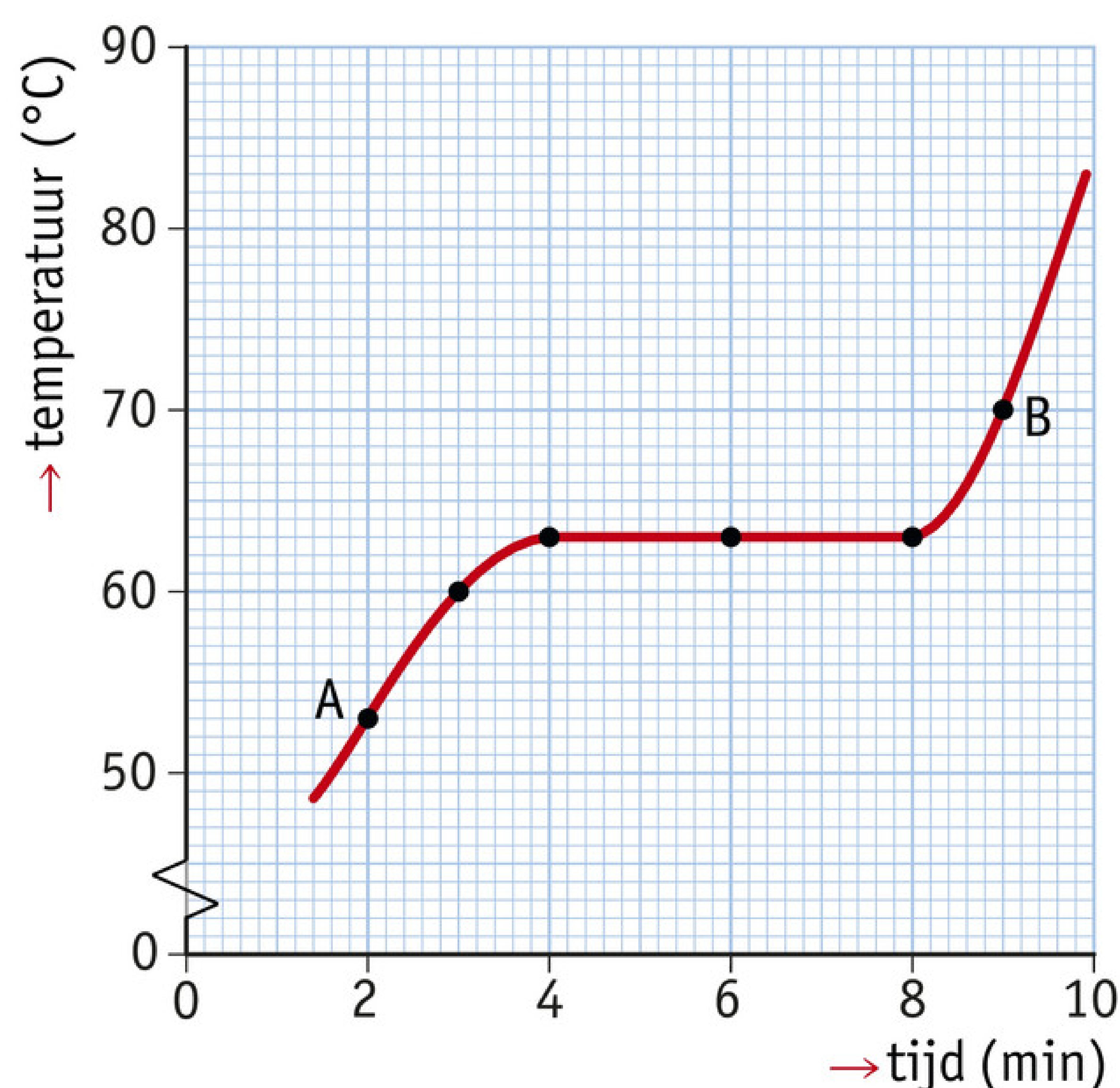
10 Lees het weerbericht in figuur 42.
- **a** Welke fase-overgang is er de oorzaak van dat er stapelwolken ontstaan?
- **b** Welke fase-overgang is er de oorzaak van dat de bewolking weer 'oplost'?
- **c** Hoe komt het dat er juist in een heldere zomernacht kans is op grondmist?

> De dag begint met een strakblauwe hemel. In de loop van de ochtend ontstaan de eerste stapelwolken. 's Middags wisselen zon en schaduw elkaar af bij een temperatuur van 22 à 23 °C. Tegen de avond lost de bewolking weer op. 's Nachts is het weer helder en kan er hier en daar grondmist ontstaan.

▲ **figuur 42**
een weerbericht

11 Driss draait de luchtregelring van zijn brander dicht. Daarna steekt hij de brander aan.
Met wat voor vlam brandt de brander nu?
- A met een blauwe, goed zichtbare vlam
- B met een blauwe, slecht zichtbare vlam
- C met een gele, goed zichtbare vlam
- D met een gele, slecht zichtbare vlam

12 Lucy heeft een proef gedaan met palmitinezuur (een van de bestanddelen van kaarsvet). In figuur 43 zie je het diagram dat die ze van haar proef gemaakt heeft.



▲ **figuur 43**
de proef van Lucy

- **a** Hoe noem je het soort diagram dat Lucy gemaakt heeft?
- **b** In welke fase is het palmitinezuur in gebied A?
- **c** Wat is de fase van het palmitinezuur in gebied B?
- **d** Hoe hoog is het stolpunt van palmitinezuur?
- **e** Hoe hoog is het smeltpunt van palmitinezuur?

13 Zeewater is zout: in een liter zeewater zit ongeveer 35 g zout. Het water in een kanaal of meer is zoet: het bevat (bijna) geen zout.
Wat is juist?
- A Zeewater bevriest bij een lagere temperatuur dan zoet water.
- B Zeewater bevriest bij dezelfde temperatuur als zoet water.
- C Zeewater bevriest bij een hogere temperatuur dan zoet water.

14 In tabel 2 op blz. 72 staan twaalf stoffen. Peter heeft één van deze stoffen in een fles. De stof is bij kamertemperatuur (20 °C) een stroperige vloeistof. Als Peter de fles in de koelkast zet, stolt de stof.
Welke van de stoffen in tabel 2 zou dit kunnen zijn?

15 Noteer of de volgende uitspraken waar (W) zijn of onwaar (O).
- **a** In een vaste stof hebben de moleculen allemaal een eigen, vaste plaats.
- **b** De moleculen in een vaste stof kunnen op geen enkele manier bewegen.
- **c** In een vloeistof blijven de moleculen steeds zo dicht mogelijk bij elkaar.
- **d** Als de temperatuur stijgt, gaan de moleculen elkaar sterker aantrekken.
- **e** In een gas is de gemiddelde afstand tussen de moleculen het grootst.

16 Water zet uit als het verwarmd wordt.
Waardoor zet het water uit?
- A doordat de watermoleculen steeds groter worden
- B doordat er steeds meer watermoleculen bijkomen
- C doordat er meer ruimte tussen de moleculen komt

17 Als je je hand in een plastic zakje doet en daarna het zakje rond je pols dichtplakt, zie je na een poosje de binnenkant van het zakje beslaan.
- **a** Met welke fase-overgang heb je hier te maken?
- **b** Wat komt er blijkbaar via je huid naar buiten?

18 Rond 1900 werden alle treinen getrokken door stoomlocomotieven zoals op de foto van figuur 44.
- **a** Stoom is hete waterdamp.
  Kun je stoom zien? Leg uit.
- **b** Waaruit bestaat de witte pluim die uit de schoorsteen van de locomotief komt?
- **c** Door welke fase-overgang ontstaat die witte pluim?

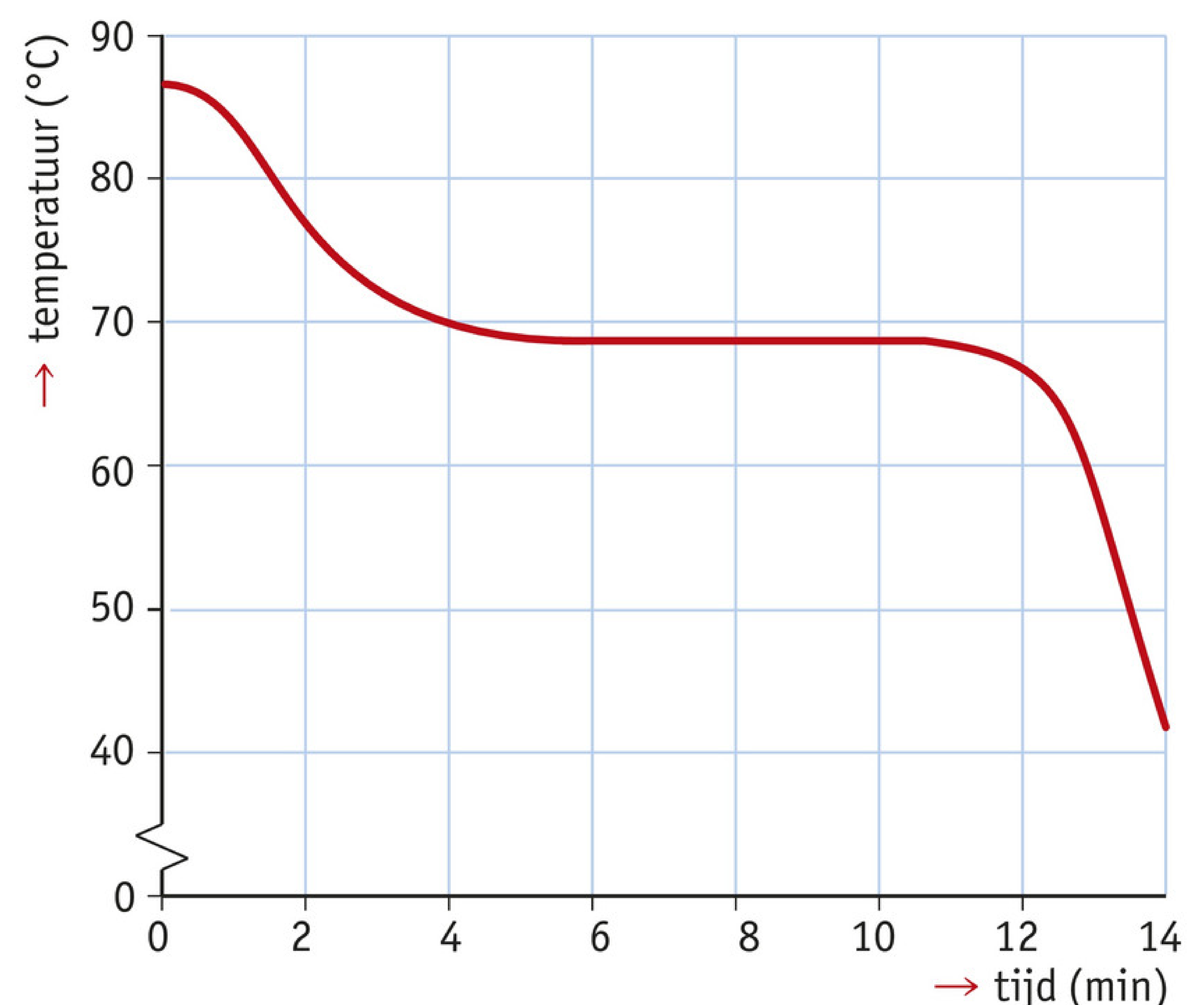


▲ **figuur 44**
een stoomtrein

19 Op een website wordt een piepkleine reisthermometer aangeboden (figuur 45).
- **a** Leg uit aan welke ontwerpeisen zo'n reisthermometer moet voldoen.
- **b** Vergelijk zo'n reisthermometer met een gewone weerthermometer.
  Wat kun je (vergelijkenderwijs) zeggen over:
  - de afmetingen van het reservoir;
  - de afmetingen van de stijgbuis;
  - het meetbereik;
  - de nauwkeurigheid

  van de twee thermometers?
- **c** Noteer twee redenen waarom zo'n vloeistofthermometertje misschien wel een leuk hebbedingetje is, maar geen goede keus vanuit praktisch oogpunt.

20 Mahmoud heeft een proef gedaan met een onbekende stof. Eerst heeft hij de stof gesmolten. Daarna heeft hij de stof weer laten afkoelen, terwijl hij met een computer de temperatuur bijhield. Na afloop heeft Mahmoud de computer een diagram van de proef laten tekenen. Zie figuur 46.
- **a** Is figuur 46 een smeltdiagram of een stoldiagram?
- **b** Hoe lang heeft de proef geduurd (vanaf het begin van de metingen)?
- **c** Hoe hoog is het smeltpunt/stolpunt van de stof?
- **d** Om welke stof zou het kunnen gaan?



▲ **figuur 46**
de proef van Mahmoud

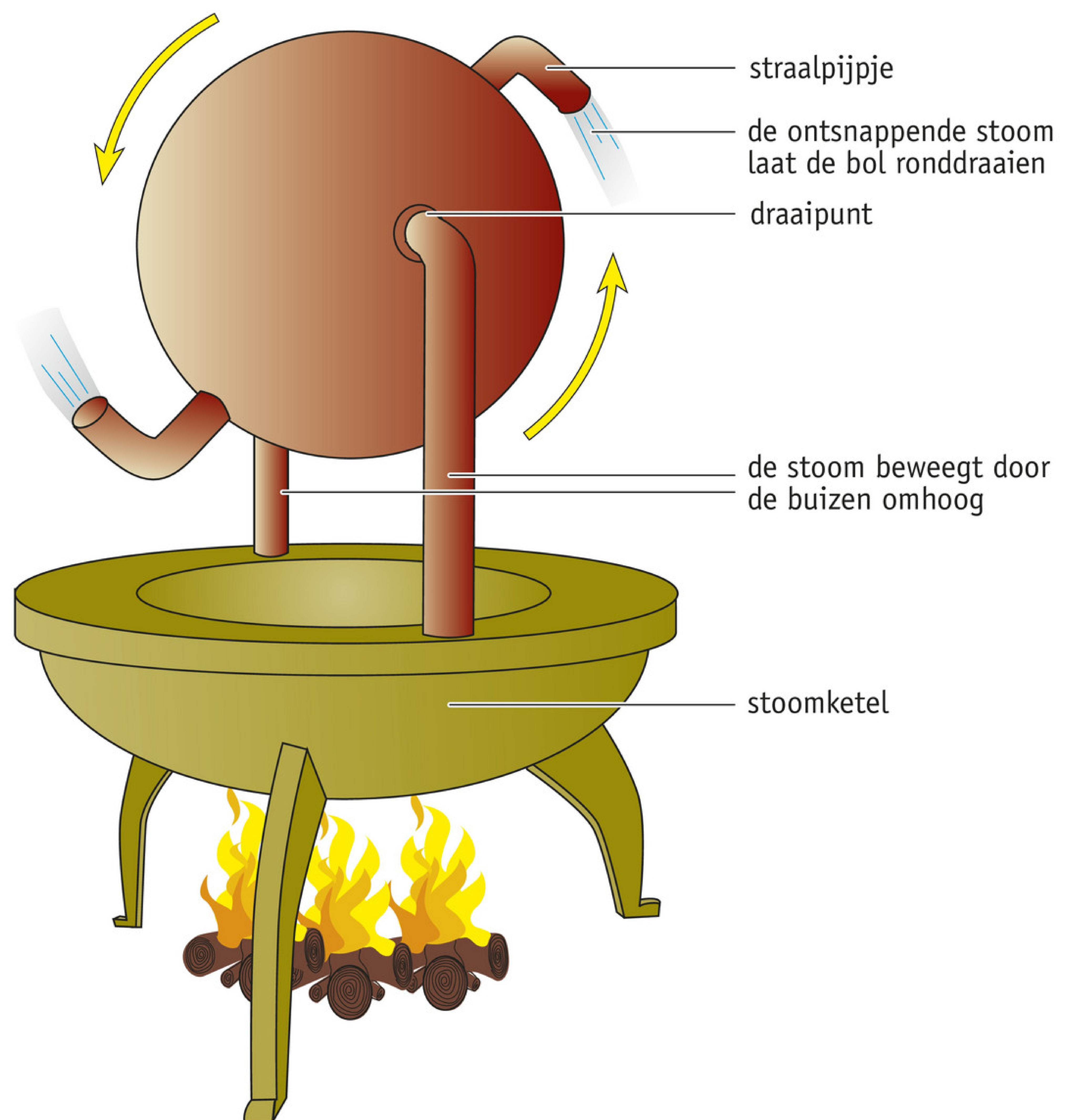


▲ **figuur 45**
een miniweerthermometer

De explosieve kracht van STOOM

Eerst hoor je het geborrel van water en het gesis van ontsnappende stoom. Dan begint de grond onder je voeten te trillen. Plotseling schiet een 50 meter hoge kolom van stoom en kokend water de grond uit. Terwijl de nevelwolken wegdrijven op de wind, blijft de eruptie eindeloos doorgaan, negen, tien minuten lang. Dan stopt de geiser weer, bijna even plotseling als hij begonnen is. Als je geluk hebt, is er over een uur of acht weer een voorstelling.





De eruptie van een flinke geiser is een indrukwekkend schouwspel. De kracht waarmee het water omhoog spuit, is enorm. Die kracht is afkomstig van oververhitte stoom die zich diep (op enkele kilometers) in de vulkanische bodem heeft gevormd. Bij een geiser zit de ondergrond zo in elkaar dat de stoom niet gemakkelijk uit de bodem kan ontsnappen. De druk loopt steeds verder op, totdat die niet meer te bedwingen is. De stoom ontsnapt dan met explosieve kracht en blaast tonnen heet water de lucht in.

Een tweeduizend jaar oude stoomturbine

Dat stoom krachten kan uitoefenen, was tweeduizend jaar geleden ook al bekend. Toen bouwde Heron van Alexandrië, een Griekse wetenschapper en uitvinder, ’s werelds eerste stoomturbine.

Een primitieve machine – voor ons gevoel is het meer een speeltje dan een serieus apparaat – maar het idee erachter was goed. Een moderne stoomturbine werkt volgens dezelfde principes.

Op de tekening hierboven zie je hoe Herons uitvinding werkte. In een stoomketel werd water verhit. De stoom die daarbij ontstond, werd via twee holle buizen naar een draaibare bal geleid. Daar kon de stoom via twee gebogen pijpjes uit ontsnappen. De kracht waarmee dat gebeurde, was groot genoeg om de bal met een flinke snelheid te laten draaien.

De *aeolipile* van Heron (zo noemde hij zijn uitvinding) kan urenlang draaien op een paar liter water. Dat komt doordat er uit een kleine hoeveelheid water een enorm volume aan stoom kan ontstaan.

Als stoom onbelemmerd uit kan zetten, levert 1 liter water wel 1600 liter stoom op. Herons *aeolipile* haalt dat niet, omdat de stoom maar via twee nauwe openingen uit het apparaat kan ontsnappen. Toch heb je ook in dit geval genoeg aan 1 liter water om honderden liters stoom te maken.

Stoom opsluiten

Als je water kookt in een steelpannetje, kan de stoom alle kanten op. De stoom hoeft niet hard te duwen om meer ruimte voor zichzelf te maken. Je krijgt dan wel een heleboel stoom, maar geen grote krachten. Datzelfde zie je in vulkanische gebieden waar de stoom gemakkelijk uit de bodem kan ontsnappen. Je hebt daar wel hete bronnen die voortdurend borrelen en nevelwolken uitstoten, maar geen geisers die opeens krachtig uitbarsten.



Om stoom kracht te laten uitoefenen, moet je het opsluiten in een kleine ruimte, zoals de ketel van Herons *aeolipile*. Als het water in de ketel kookt, ontstaat er steeds meer stoom waar niet meteen een uitweg voor is. Daardoor loopt de druk in de ketel en de bol flink op – en dat is precies wat nodig is om de stoom met kracht uit de straalpijpjes te laten stromen.

Stoom onder hoge druk is uiterst geschikt om dingen in beweging te brengen. Nergens zie je dat beter dan in een moderne elektriciteitscentrale. Veertig meter hoge stoomketels produceren stoom voor een reeks turbines in de machinehal. De turbines worden aan het draaien gebracht door de gloeiend hete stoom die tegen de turbinebladen blaast – net als windmolens door de wind, maar dan vele malen krachtiger. Ze drijven op hun beurt generatoren aan die honderdduizenden mensen van elektrische energie voorzien.

Stoomexplosies

De kracht van stoom kan ook gevaarlijk zijn. Een ketel of een pijpleiding die stoom onder hoge druk bevat, kan het plotseling begeven door een constructiefout of door ouderdom en slecht onderhoud. De stoom stroomt dan met onweerstaanbare kracht naar buiten en blaast alles in zijn pad opzij. Mensen kunnen niet alleen gewond raken door de hete stoom, maar ook door rondvliegende brokstukken.

Op 18 juli 2007 explodeerde een ondergrondse stoomleiding onder een druk kruispunt in New York. De stoom blies heet water en modder meer dan 100 meter de lucht in. Het Chrysler gebouw van 319 meter hoog was door de witte nevelwolken niet meer te zien. Pas na twee uur trok de nevel op en werd een krater zichtbaar van 10 meter doorsnee en 4 meter diepte. De oorzaak: een zwakke plek in een tachtig jaar oude stoompijp.

De explosieve kracht van stoom is ook de reden dat je een brandende frituurpan NOOIT met water moet proberen te blussen. De combinatie van water en heet brandend vet is levensgevaarlijk. Als het water het frituurvet raakt, zal het razendsnel veranderen in stoom. De daarop volgende stoomexplosie slingert het brandende vet alle kanten op. Er ontstaat een grote vuurbal die alles om zich heen in brand zet.

Voorzichtig … stoom!

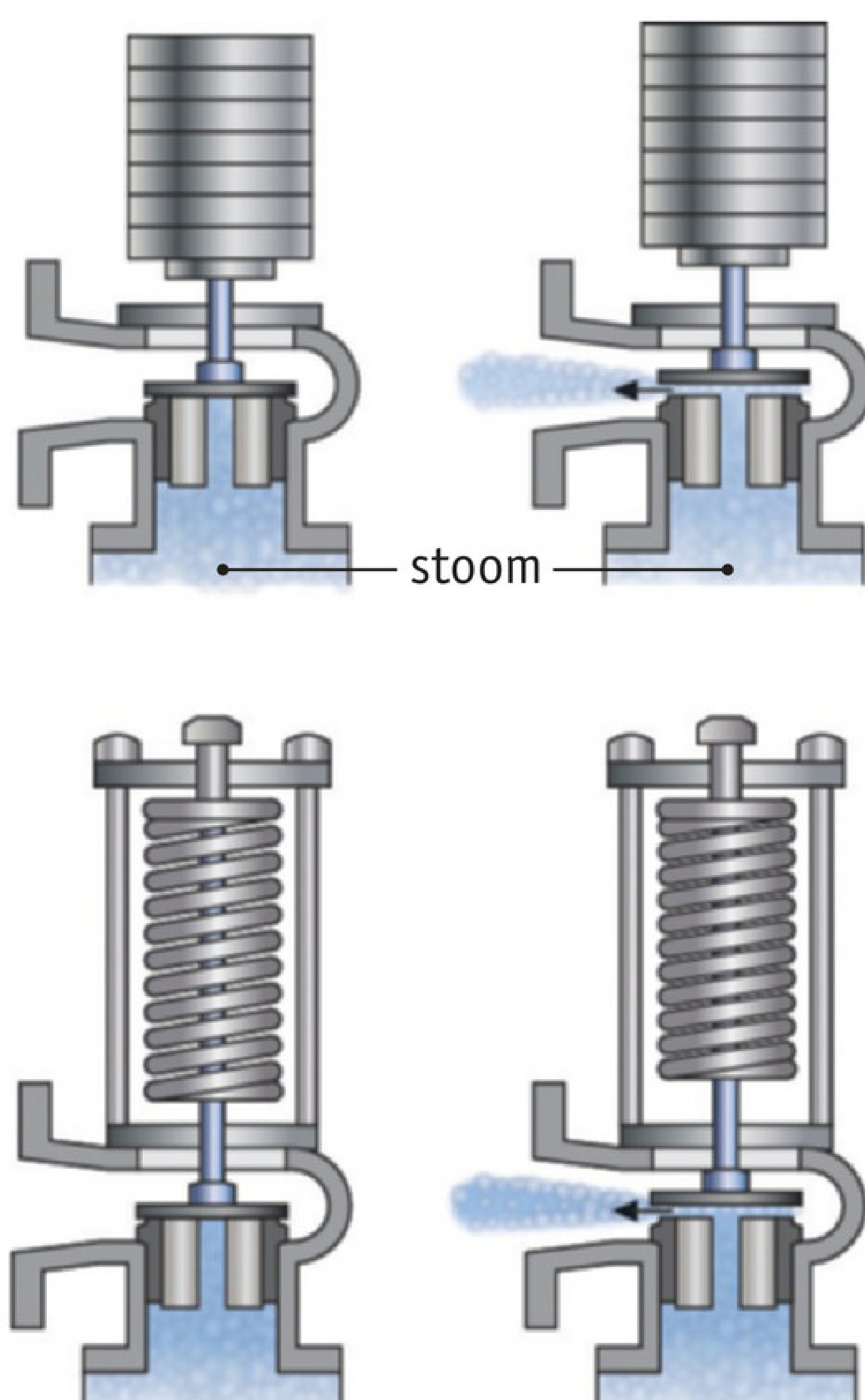
Stoomketels worden zorgvuldig ontworpen zodat ze de enorme kracht van de stoom kunnen weerstaan. De bouwers houden een veiligheidsmarge aan. Ook als de druk boven de maximaal toelaatbare waarde stijgt, vliegen de brokken je niet meteen om de oren. Bovendien zijn er allerlei veiligheidsvoorzieningen. Als de druk in een ketel te hoog oploopt, gaan er meteen veiligheidskleppen open. Daardoor kan er stoom ontsnappen, zodat de druk in de ketel begint te zakken. Buiten de ketel zie je dan een grote nevelwolk waar de hete stoom condenseert in de koude buitenlucht.

Aan het begin van het stoomtijdperk, nu zo'n tweehonderd jaar geleden, had de veiligheid nog niet zoveel aandacht. Maar er gebeurden zoveel ongelukken dat daar al snel verandering in kwam. In 1824 werd in Nederland de Stoomwet van kracht. Daarin stonden allerlei regels die voor meer veiligheid moesten zorgen. De mensen van toen zullen alle voorschriften weleens lastig hebben gevonden, maar de veiligheid verbeterde er enorm door.

WEETJE

New York heeft het grootste commerciële stoomsysteem ter wereld, met circa 160 km aan pijpleidingen. Meer dan honderdduizend bedrijven en huishoudens zijn op het systeem aangesloten. Woningverwarming, warmwatervoorziening en airconditioning zijn de belangrijkste toepassingen. Sommige van de stoompijpen zijn al meer dan honderd jaar oud.

De ouderwetse stoommachine is inmiddels bijna uitgestorven, maar stoomturbines doen het nog altijd fantastisch. Ze wekken 80% op van alle elektrische energie die wereldwijd wordt gebruikt. Zelfs een kerncentrale kan niet zonder stoomturbines om warmte om te zetten in beweging. Elektriciteit heeft het gebruik van stoom dus niet overbodig gemaakt, maar alleen verplaatst … naar de centrale. Als je er goed over nadenkt, maken zelfs je smartphone en je laptop indirect gebruik van de kracht van stoom.



Stoomontploffing treft New York

NEW YORK (ANP) – Midden in de Amerikaanse stad New York heeft zich woensdag een zware explosie voorgedaan tijdens de avondspits. Volgens de autoriteiten is een ondergrondse stoompijp ontploft in een van de straten van hartje Manhattan. Meer dan twintig mensen hebben verwondingen opgelopen. De druk is inmiddels van de stoompijp gehaald. De ravage is groot..

De Volkskrant, 19 juli 2007

Opgaven

1 Leg uit hoe het komt:

- **a** dat geisers niet voorkomen in gebieden waar de bodem heet water en stoom gemakkelijk doorlaat.
- **b** dat de druk in de ketel en bol van Herons *aeolipile* oploopt, als het water in de ketel begint te koken.
- **c** dat je een enorm risico loopt als je een brandje in een frituurpan met water probeert te blussen.

2 Bij een stoomexplosie ontstaan altijd grote wolken witte ‘nevel’.

- **a** Uit welke stof bestaan die nevelwolken? In welke fase is die stof?
- **b** De media hebben het over ‘stoomwolken’ en ‘wolken waterdamp’. Waarom zijn deze namen vanuit natuurkundig oogpunt minder juist?
- **c** In een krantenbericht staat: “De stoomwolken losten snel weer op.”
  Vertaal deze zin van ‘alledaagse/mediataal’ naar ‘natuurkundetaal’.

3 Bekijk de twee veiligheidskleppen die hiernaast getekend zijn. Leg uit:

- **a** hoe de bovenste veiligheidsklep werkt.
- **b** hoe de onderste veiligheidsklep werkt.





4 Lucht

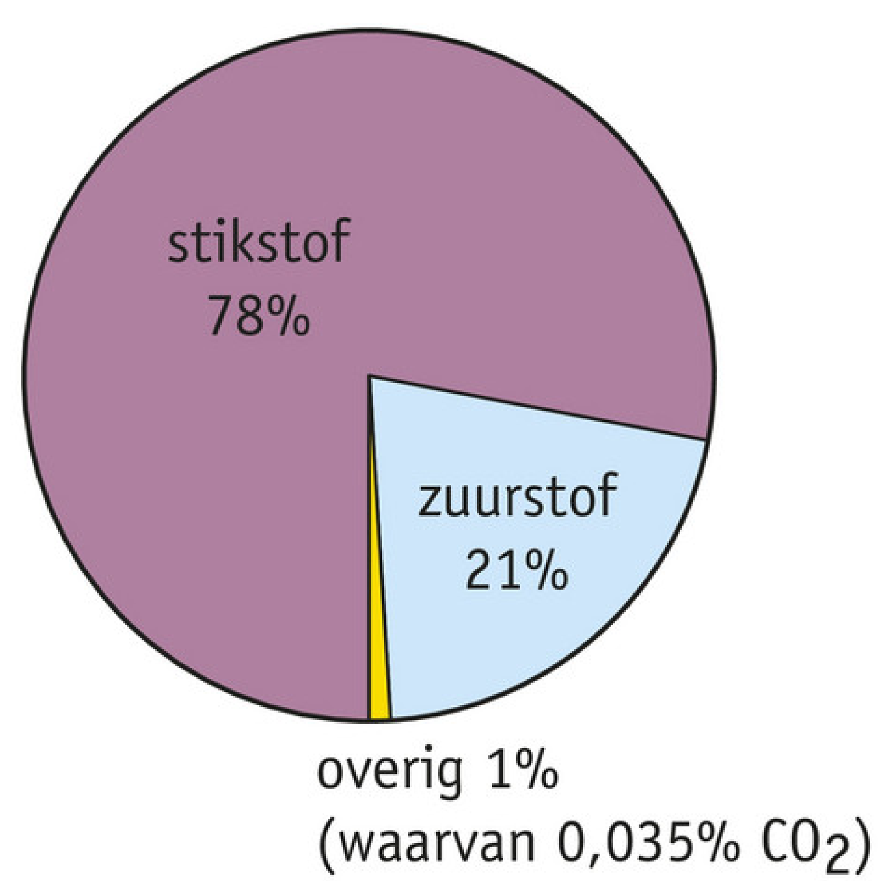
Lucht om in te leven

Als schermvlieger kun je uren zweven in de ijle lucht, hoog boven de aarde. Beneden je zijn de mensen bezig met van alles en nog wat. Hun leven speelt zich af op de bodem van een zee van lucht – net als dat van een schermvlieger als hij niet vliegt.

1 Lucht: een mengsel van gassen

Lucht is doorzichtig en heeft geen geur of smaak. Daardoor sta je er vaak niet bij stil dat overal om je heen lucht is. Toch zou je zonder lucht niet kunnen leven. Je kunt misschien een week zonder voedsel of een dag zonder water, als het echt zou moeten. Maar je kunt op zijn hoogst een paar minuten zonder lucht.

De samenstelling van lucht Proef 1



▲ **figuur 1**
de samenstelling van lucht

Lucht is een mengsel van verschillende gassen (figuur 1). De belangrijkste bestanddelen zijn **stikstof** en **zuurstof**. Daarnaast komen er in lucht kleine hoeveelheden voor van andere gassen, zoals argon en **koolstofdioxide**. Lucht bevat ook waterdamp, al kan de hoeveelheid waterdamp per kubieke meter wel sterk wisselen.

Stikstof

Lucht bestaat voor 78% uit stikstof (N_2). Je lichaam heeft dit gas niet nodig. Je ademt het in en uit, zonder dat er in je longen iets mee gebeurt. Sommige levensmiddelen, zoals koekjes en chips, worden verpakt onder 100% stikstof, omdat ze in zo'n 'beschermende atmosfeer' langer goed blijven dan in gewone lucht.

Zuurstof

Lucht bestaat voor ongeveer 21% uit zuurstof (O_2). Mensen en dieren hebben dit gas nodig om te kunnen leven. Door adem te halen, zorg je ervoor dat je lichaam van zuurstof wordt voorzien. In je longen wordt zuurstof uit de ingeademde lucht opgenomen in het bloed. Het bloed vervoert de zuurstof daarna naar alle delen van je lichaam.

Koolstofdioxide

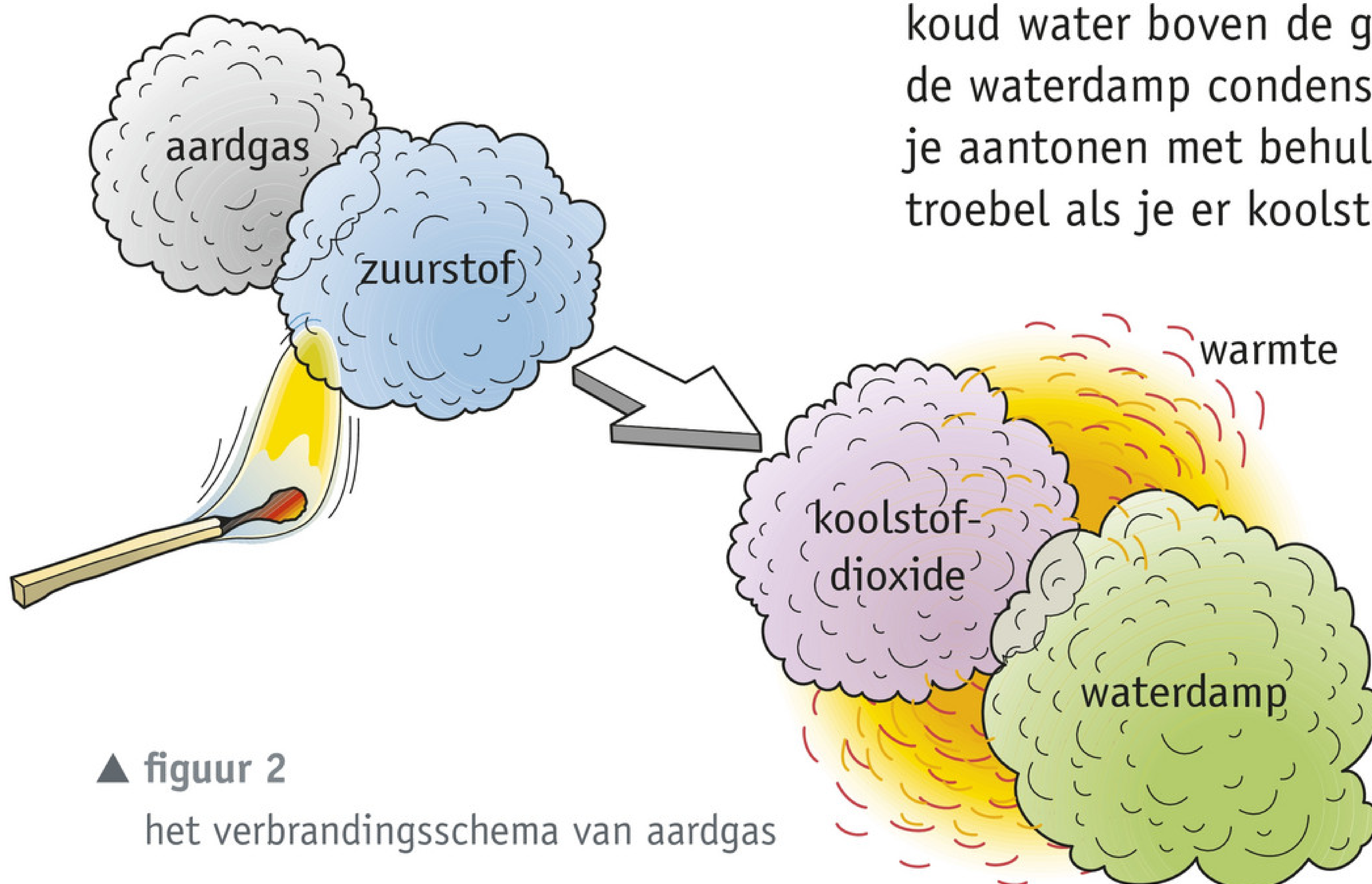
Lucht bestaat slechts voor (gemiddeld) 0,03% uit koolstofdioxide (CO_2). Toch is dit gas net als zuurstof onmisbaar voor het leven op aarde. Planten hebben het nodig om te kunnen groeien. Koolstofdioxide is ook een bestanddeel van allerlei dranken: van cola tot champagne. De 'bubbeltjes' in deze dranken zijn belletjes koolstofdioxide.

Zuurstof en verbranding

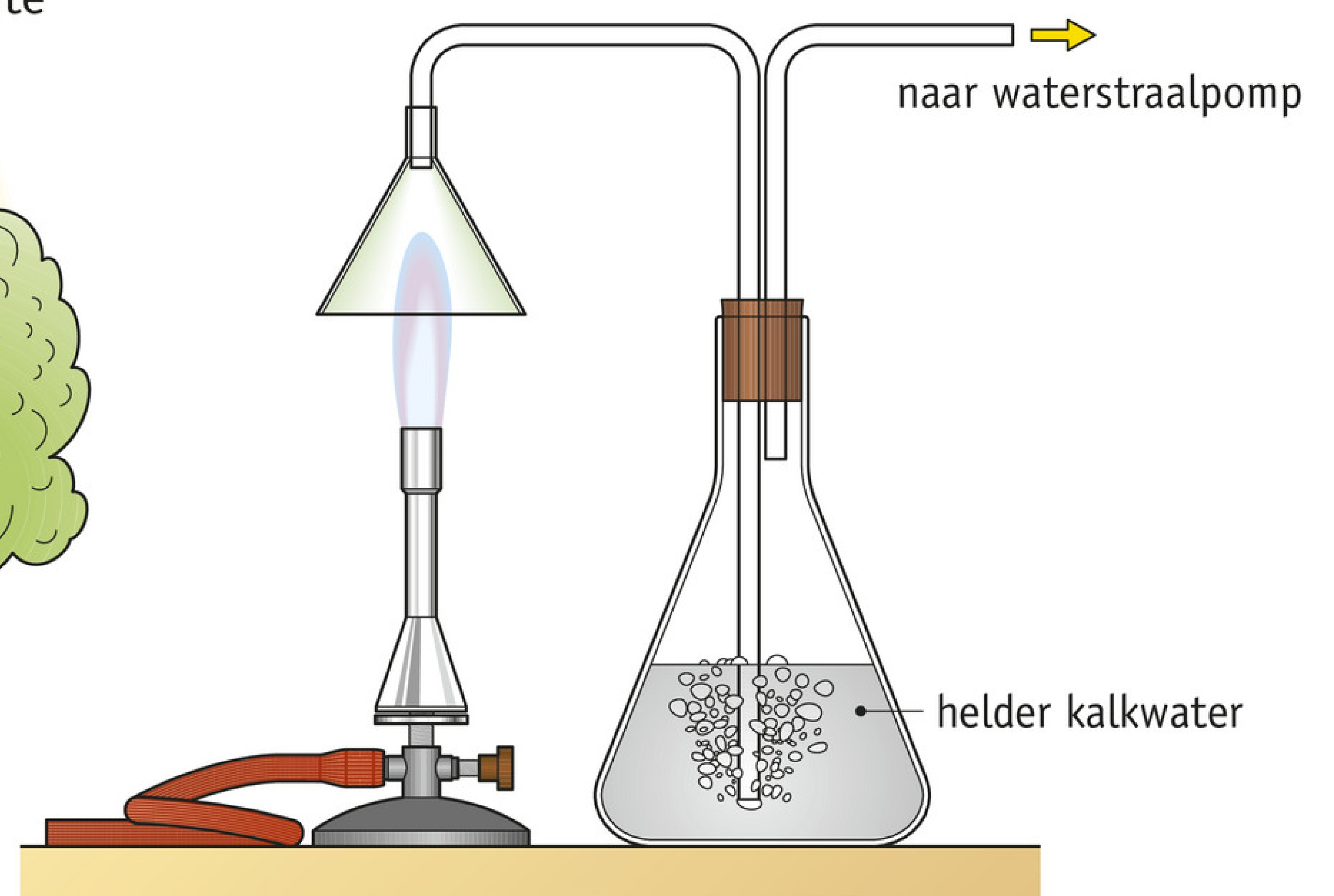
Zuurstof is onmisbaar als je iets wilt verbranden. De vlam van een brander bijvoorbeeld verbruikt niet alleen aardgas, maar ook zuurstof uit de lucht. Daarom moet er voldoende aanvoer van frisse lucht zijn, als je met een brander werkt. Dat zorgt ervoor dat de vlam genoeg zuurstof krijgt en – veel belangrijker – dat je zelf goed kunt blijven ademhalen.

Een mengsel van aardgas en lucht gaat niet uit zichzelf branden; je moet het aansteken met een lucifer of een aansteker. Dat zorgt ervoor dat de vereiste **ontbrandingstemperatuur** wordt bereikt. Elke brandbare stof heeft zijn eigen ontbrandingstemperatuur. Die van aardgas is circa 630 °C.

Als je aardgas verbrandt, verdwijnen er twee stoffen: aardgas én zuurstof. Daarvoor in de plaats ontstaan hete **verbrandingsgassen**: waterdamp en koolstofdioxide (figuur 2). Deze gassen kun je net als aardgas en zuurstof niet zien. Je kunt ze wel aantonen door proeven te doen.
Het ontstaan van waterdamp kun je aantonen door een bekerglas met koud water boven de gasvlam te houden. Het glas beslaat dan doordat de waterdamp condenseert tegen het koude glas. Koolstofdioxide kun je aantonen met behulp van kalkwater. Kalkwater is helder, maar wordt troebel als je er koolstofdioxide doorheen laat 'bubbelen' (figuur 3).



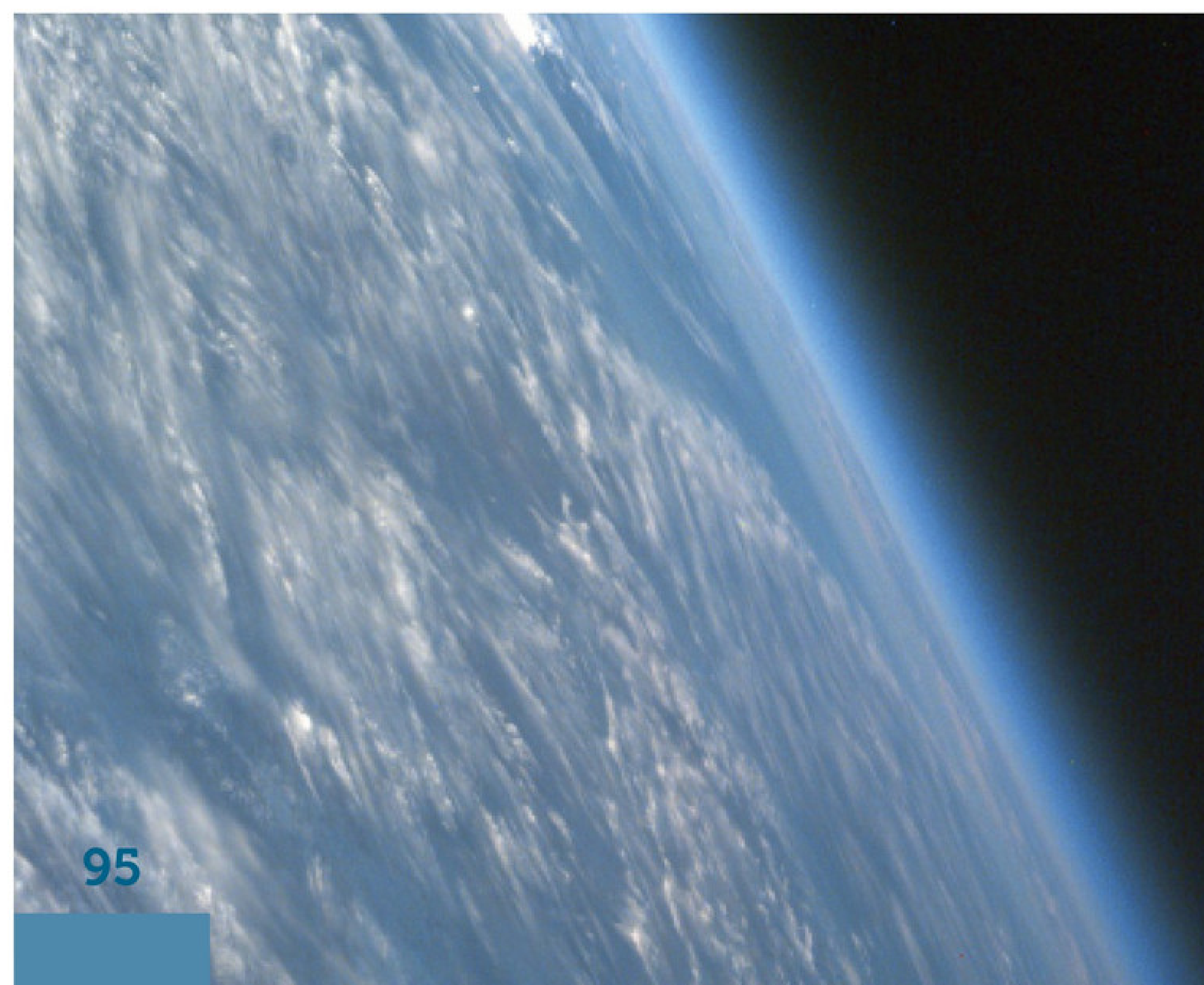
▲ **figuur 2**
het verbrandingsschema van aardgas



▶ **figuur 3**
koolstofdioxide aantonen

De atmosfeer

Rond de aarde bevindt zich een laag lucht, die de **dampkring** of de **atmosfeer** wordt genoemd (figuur 4). Daarbuiten is er alleen 'lege' ruimte. Zo'n luchtledige ruimte wordt een **vacuüm** genoemd. Je kunt niet precies zeggen hoe dik de atmosfeer is, omdat de lucht bij toenemende hoogte steeds ijler wordt. Op grote hoogte gaat de atmosfeer ongemerkt over in het vacuüm van het heelal.



▶ **figuur 4**
Op deze foto is mooi te zien hoe dik de dampkring is.



▲ **figuur 5**
wonen in de Andes, op 5 km boven zeeniveau

Dat de lucht ijler wordt, betekent dat er per volume-eenheid steeds minder moleculen aanwezig zijn. Op 5500 m hoogte is het aantal moleculen per kubieke meter de helft lager dan op zeeniveau. Op de top van de Mount Everest, 8850 m boven de zeespiegel, is dat aantal zelfs drie keer zo laag.

Vanaf een bepaalde hoogte is de lucht zo ijl dat mensen er gebrek aan zuurstof krijgen. Daarvoor hoef je niet eens zo veel kilometers omhoog te gaan. Hoger dan 6 km boven zeeniveau wonen al geen mensen meer. Op de hoogste bergen (8–9 km boven zeeniveau) is de lucht zo ijl dat de meeste bergbeklimmers flessen met zuurstof nodig hebben.

De luchtlaag waarin mensen zonder hulpmiddelen kunnen leven, is dus maar 6 km dik. Dat is erg weinig, vergeleken met de afmetingen van de aarde. Als de aarde de grootte van een voetbal zou hebben, zou deze luchtlaag minder dan 1 mm dik zijn.

Plus Hoogteziekte

Als je van zeeniveau snel naar grote hoogte gaat (meer dan 3 km boven zeeniveau), reageert je lichaam meteen. Je gaat vanzelf sneller ademhalen en je hart gaat sneller kloppen. Zo probeert je lichaam genoeg zuurstof binnen te krijgen. Ondanks die aanpassingen bevat je bloed op grote hoogte minder zuurstof dan op zeeniveau.

Sommige mensen worden ziek door dit gebrek aan zuurstof. Ze voelen zich ellendig, zijn snel vermoeid en slapen slecht. Vaak gaat deze hoogteziekte na een paar dagen vanzelf over. Er bestaat ook een ernstige vorm van hoogteziekte waarbij zich vocht ophoopt in de longen of de hersenen. Deze vorm van hoogteziekte is levensgevaarlijk.



Mensen met een ernstige vorm van hoogteziekte moeten zo snel mogelijk afdalen naar een kleinere hoogte. Als de ziekte niet te ver gevorderd is, verdwijnen de klachten dan weer. Als snel afdalen niet goed mogelijk is, kan het slachtoffer in een Gamow bag gelegd worden: een opblaasbare, luchtdicht afgesloten zak waar van buitenaf lucht ingepompt kan worden. Hierin kan het slachtoffer zover opknappen, dat hij daarna op eigen kracht of met hulp van anderen naar beneden kan gaan.

◀ **figuur 6**
Langzaam stijgen helpt om de hoogteziekte in toom te houden.

opgaven

Leerstof

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Uit welke twee gassen bestaat lucht voor het overgrote deel?
- **b** Welke gassen komen er nog meer in lucht voor? Noteer er twee.
- **c** Waarom is koolstofdioxide onmisbaar voor het leven op aarde?
- **d** Hoe noem je een ruimte waar totaal niets (ook geen lucht) in zit?

2 Neem over en vul in.
Een verbrandingsreactie komt pas tot stand als er aan drie voorwaarden wordt voldaan.
1 Je hebt een … nodig, zoals aardgas of benzine.
2 Er moet voldoende aanvoer zijn van … (in lucht).
3 Je moet ervoor zorgen dat de … wordt bereikt.

3 Hoe kun je aantonen dat bij de verbranding van aardgas:
- **a** waterdamp ontstaat?
- **b** koolstofdioxide ontstaat?

Toepassing

4 Anke wil een brander aansteken. Ze draait de gasregelknop open.
Maak een tekening van een brander en schrijf erbij:
- **a** hoe je het mengsel van aardgas en lucht kunt laten ontbranden.
- **b** hoe je de brandstoftoevoer naar de gasvlam kunt regelen.
- **c** hoe je de zuurstoftoevoer naar de gasvlam kunt regelen.

5 Als het vet in een frituurpan te heet wordt, kan het opeens vlam vatten (figuur 7). Een koelbloedige kok kan het vuur dan nog doven door een deksel op de pan te schuiven en het gas uit te doen.
Leg uit:
- **a** waardoor het vuur dooft, als je het deksel voorzichtig op de frituurpan schuift.
- **b** waardoor het vet weer begint te branden, als je het deksel meteen weer optilt.
- **c** waarom je nooit moet proberen om brandend frituurvet met water te blussen.

▼ figuur 7
brand in de keuken

Brand door hete frituurpan

SOEST – Door een brand in een flat in Soest is een keuken flink beschadigd. De bewoner van de Smitsweg was de frituurpan vergeten, zodat niet veel later de vlam in de pan sloeg.
De politie was als eerste ter plaatse en wist het vuur te doven. Daarvoor moesten wel een ruit en een deur worden geforceerd. De bewoner kwam met de schrik vrij, maar is wel onderzocht door ambulancepersoneel, omdat hij rook had ingeademd





▲ **figuur 8**
vacuüm verpakte kaas

6 Levensmiddelen zoals kaas en worst worden vaak vacuüm verpakt (figuur 8).
- **a** Welke voordelen heeft het om levensmiddelen vacuüm te verpakken?
- **b** Hoe kun je voelen dat een stuk kaas of worst vacuüm verpakt is?
- **c** Wat hoor je als je een pak vacuüm verpakte koffie openmaakt?
- **d** Waardoor wordt het geluid dat je dan hoort, veroorzaakt?

7 Bergbeklimmers nemen soms flessen met zuurstof mee naar boven.
- **a** Waarom hebben de meeste klimmers extra zuurstof nodig om de hoogste toppen in de Himalaya te beklimmen?
- **b** Waarom hoeven bergbeklimmers geen zuurstofflessen mee te nemen als ze in de Alpen gaan klimmen?

8 Zoek op internet informatie over vliegen in de stratosfeer.
- **a** Waarom vliegen grote verkeersvliegtuigen gedurende het grootste gedeelte van de reis in de stratosfeer, op zo'n 10 km hoogte?
- **b** Wat is een drukcabine? Waarom is zo'n cabine onmisbaar voor een modern verkeersvliegtuig?
- **c** De raampjes van een vliegtuig zijn bijzonder stevig geconstrueerd. Het plexiglas dat erin zit, is vrijwel onbreekbaar.
  Wat zouden de gevolgen voor de passagiers zijn, als het plexiglas in zo'n raampje tijdens de vlucht zou breken? Licht je antwoord toe.

***9** Een school in Amsterdam heeft lokalen die 7,5 m lang, 6,8 m breed en 3,0 m hoog zijn. De lucht in de lokalen heeft een dichtheid van 1,2 kg/m^3.
- **a** Zie vaardigheid 12 achter in het boek.
  Bereken hoe groot de massa is van de lucht in één lokaal.
- **b** Een school in Zwitserland heeft lokalen die precies even groot zijn. Heeft de lucht in zo'n lokaal dezelfde massa als je bij a hebt berekend? Zo nee, hoe zit het dan wel? Licht je antwoord toe.

Plus Hoogteziekte

10 Bergbeklimmers kunnen bij het beklimmen van een hoge berg last krijgen van hoogteziekte.
- **a** Waardoor wordt deze hoogteziekte veroorzaakt?
- **b** Wat kan een bergbeklimmer met ernstige hoogteziekte het beste doen?
- **c** Bergbeklimmers lopen minder kans op de hoogteziekte, als ze langzaam stijgen.
  Leg uit hoe dat komt.

*11 Als een bergbeklimmer lijdt aan een ernstige vorm van hoogteziekte, kun je hem of haar in een *Gamow bag* leggen.
Lees de tekst in figuur 9 en beantwoord de vragen.

a Hoe komt het dat het slachtoffer opknapt van het verblijf in de *bag*?
b Waarom is het noodzakelijk dat de *bag* een luchtdichte rits heeft?
c Waarom moet er steeds nieuwe lucht naar binnen gepompt worden?
d Waarom moet er via ventielen ook steeds lucht kunnen ontsnappen?

De *Gamow bag*

Om een klimmer met hoogteziekte in leven te houden, wordt gebruikgemaakt van een zogenaamde *Gamow bag*. De *Gamow bag* is, in gebruiksklare toestand, een soort opgepompt luchtbed waar de klimmer binnenin ligt opgesloten.
Meestal wordt met behulp van een voetpomp van buitenaf druk op de *bag* gehouden. De pompfrequentie is acht tot tien maal per minuut. De bag heeft twee drukventielen die automatisch openen als de druk binnen te hoog wordt.
De *Gamow bag* simuleert omstandigheden die kilometers lager heersen, en zorgt ervoor dat de klimmer in de bag meer zuurstof binnenkrijgt per ademhaling. Uit onderzoek is gebleken dat dit een effectieve manier is om de symptomen van de hoogteziekte te bestrijden.



▲ **figuur 9**
Zo werkt een *Gamow bag*.

2 Luchtdruk

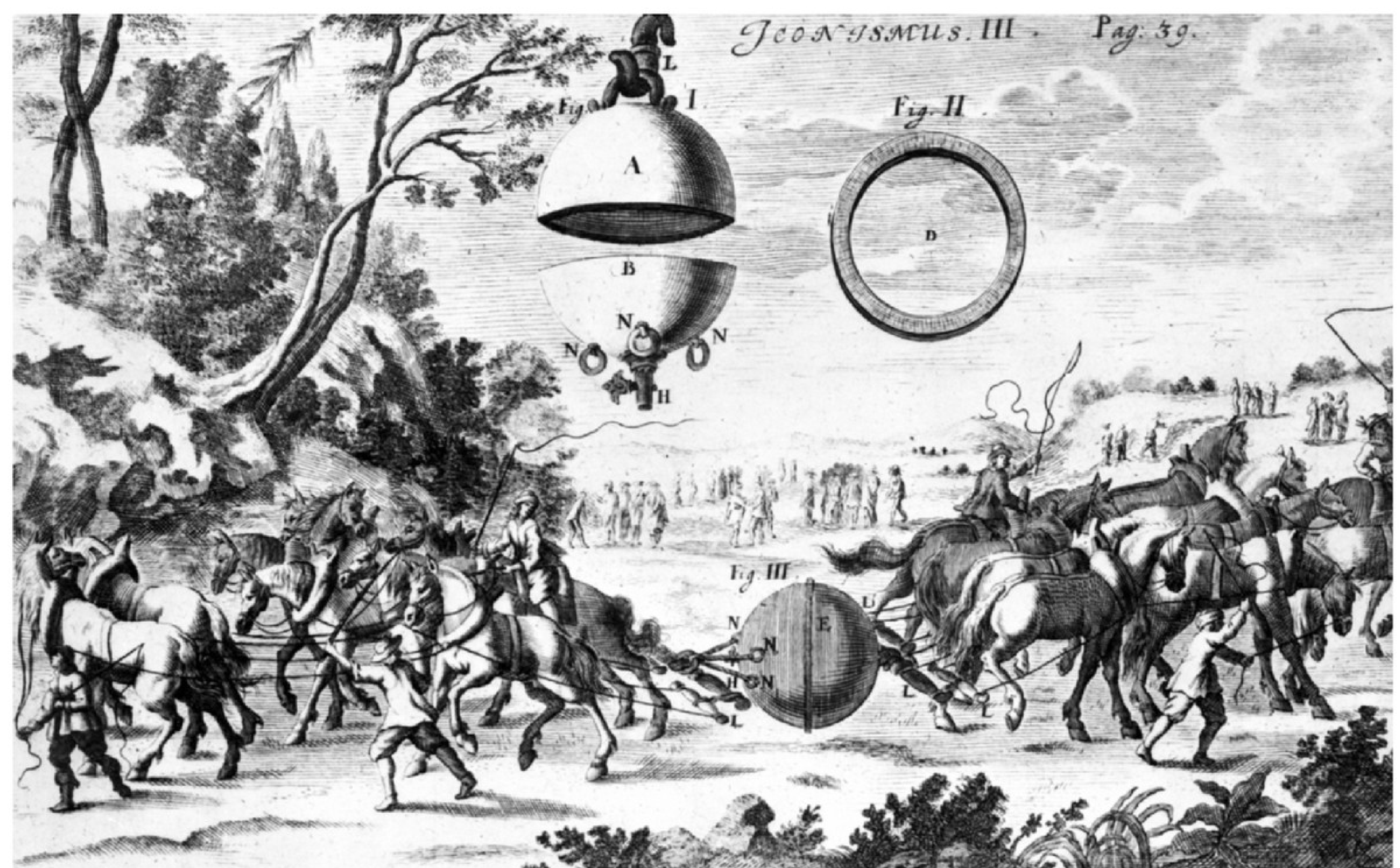
Je leven speelt zich af op de bodem van een zee van lucht. Die lucht oefent een druk op je uit, net zoals water dat doet als je naar de bodem van een zwembad duikt. Vaak voel je de luchtdruk helemaal niet. Maar als je snel stijgt of snel daalt, bijvoorbeeld in een lift, merk je aan de 'druk op je oren' dat de luchtdruk er is.

Atmosferische druk Proef 2

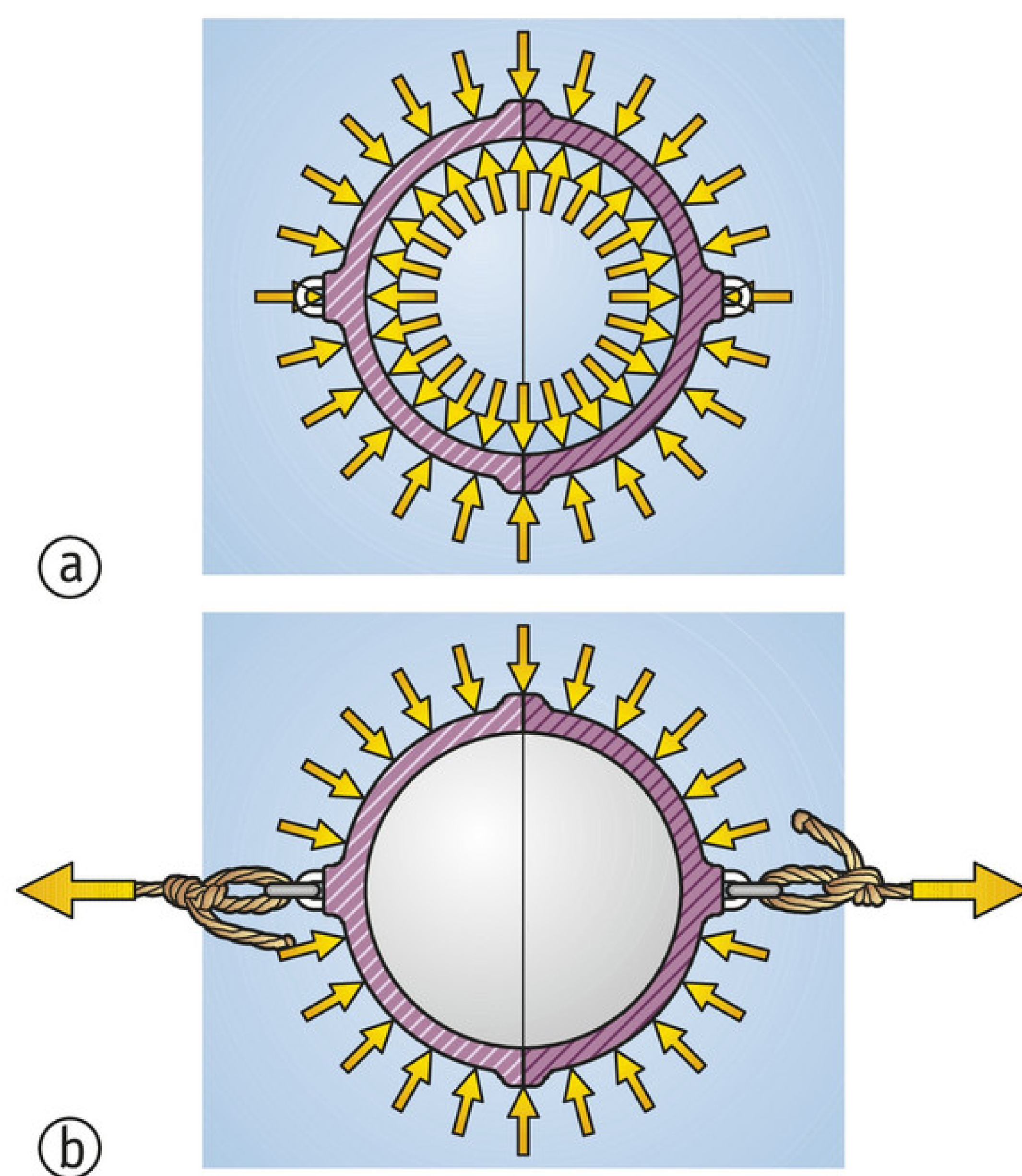
Al heeft lucht een kleine dichtheid, alle lucht boven je hoofd heeft bij elkaar toch een behoorlijk gewicht. Daardoor oefent die lucht een druk uit op alles wat zich op aarde bevindt. Deze druk noem je de **luchtdruk** of de **atmosferische druk**.

Meestal merk je niets van de luchtdruk. Daarom zijn er allerlei proeven bedacht die je laten zien hoe groot de luchtdruk is. Een beroemd voorbeeld is de proef met de Maagdenburgse halve bollen. Bij deze proef worden twee halve bollen los op elkaar gezet. Daarna wordt de lucht er tussenuit gepompt. Je kunt de halve bollen dan niet meer van elkaar af halen.

De proef met de Maagdenburgse halve bollen werd voor het eerst uitgevoerd in 1654 in Maagdenburg. Otto von Guericke, een wetenschapper met een goed gevoel voor publiciteit, maakte er een groot spektakel van (figuur 10). Hij liet zestien paarden aanrukken om het tegen de luchtdruk op te nemen. Maar ook toen lukte het niet om de twee halve bollen van elkaar te scheiden.



▶ **figuur 10**
Zelfs met zestien paarden konden de halve bollen niet van elkaar getrokken worden.



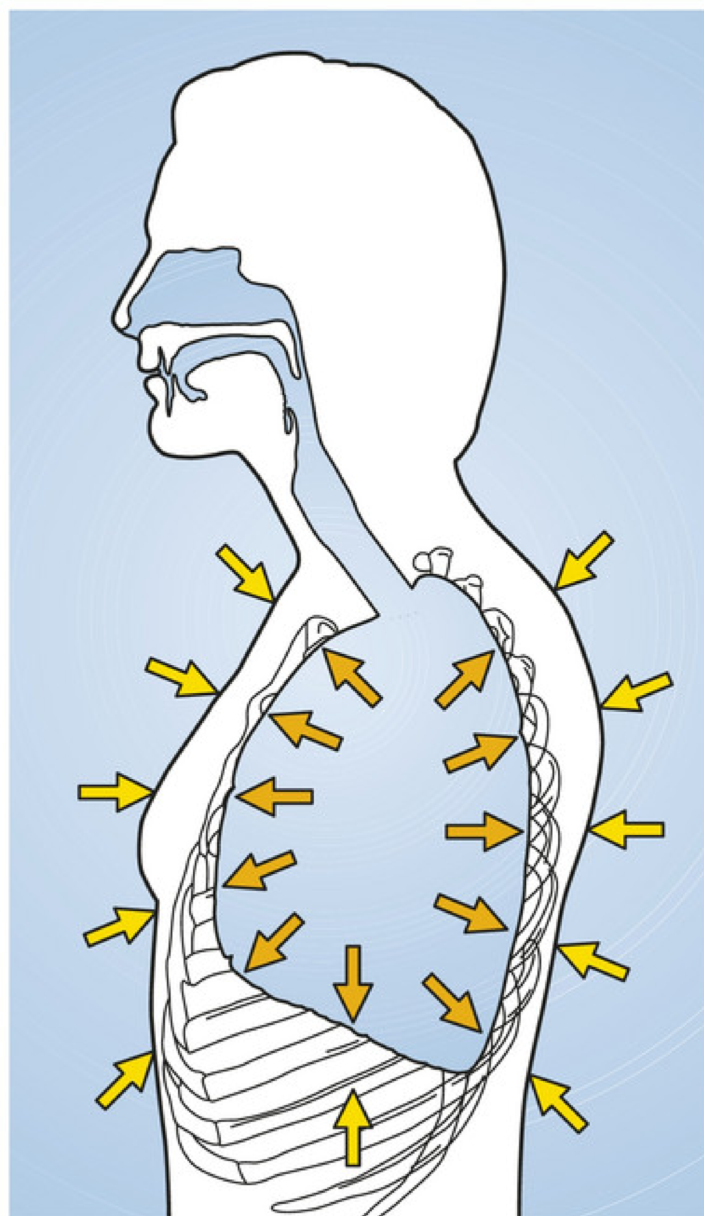
▲ **figuur 11**
De tegendruk verdwijnt als de lucht tussen de halve bollen wordt weggepompt.

Luchtdruk en tegendruk Proef 3

Als je twee halve bollen los op elkaar zet, blijven ze niet vanzelf aan elkaar vastzitten. Zolang er nog lucht in de halve bollen zit, kun je ze zonder moeite van elkaar af halen. De lucht in de bollen zorgt voor een tegendruk die even groot is als de luchtdruk van buitenaf (figuur 11a). De luchtdruk en de tegendruk heffen elkaar dan op.

Dat verandert als je de lucht tussen de halve bollen wegpompt. Er is dan geen tegendruk meer. Alleen de luchtdruk van buitenaf blijft over. Die duwt de halve bollen stevig tegen elkaar aan (figuur 11b). Let erop dat die druk niet alleen van boven komt, maar van alle kanten!

Je merkt pas iets van de luchtdruk als de luchtdruk en de tegendruk niet even groot zijn. Dat geldt ook voor jezelf. In je lichaam zijn verschillende (min of meer) holle ruimtes, zoals je longen. Toch wordt je borstkas niet door de luchtdruk in elkaar gedrukt. Dat komt doordat je longen gevuld zijn met lucht. Die lucht zorgt voor een tegendruk, die even groot is als de luchtdruk van buitenaf (figuur 12).



▲ **figuur 12**
De tegendruk in je longen voorkomt dat je borstkas wordt ingedrukt.

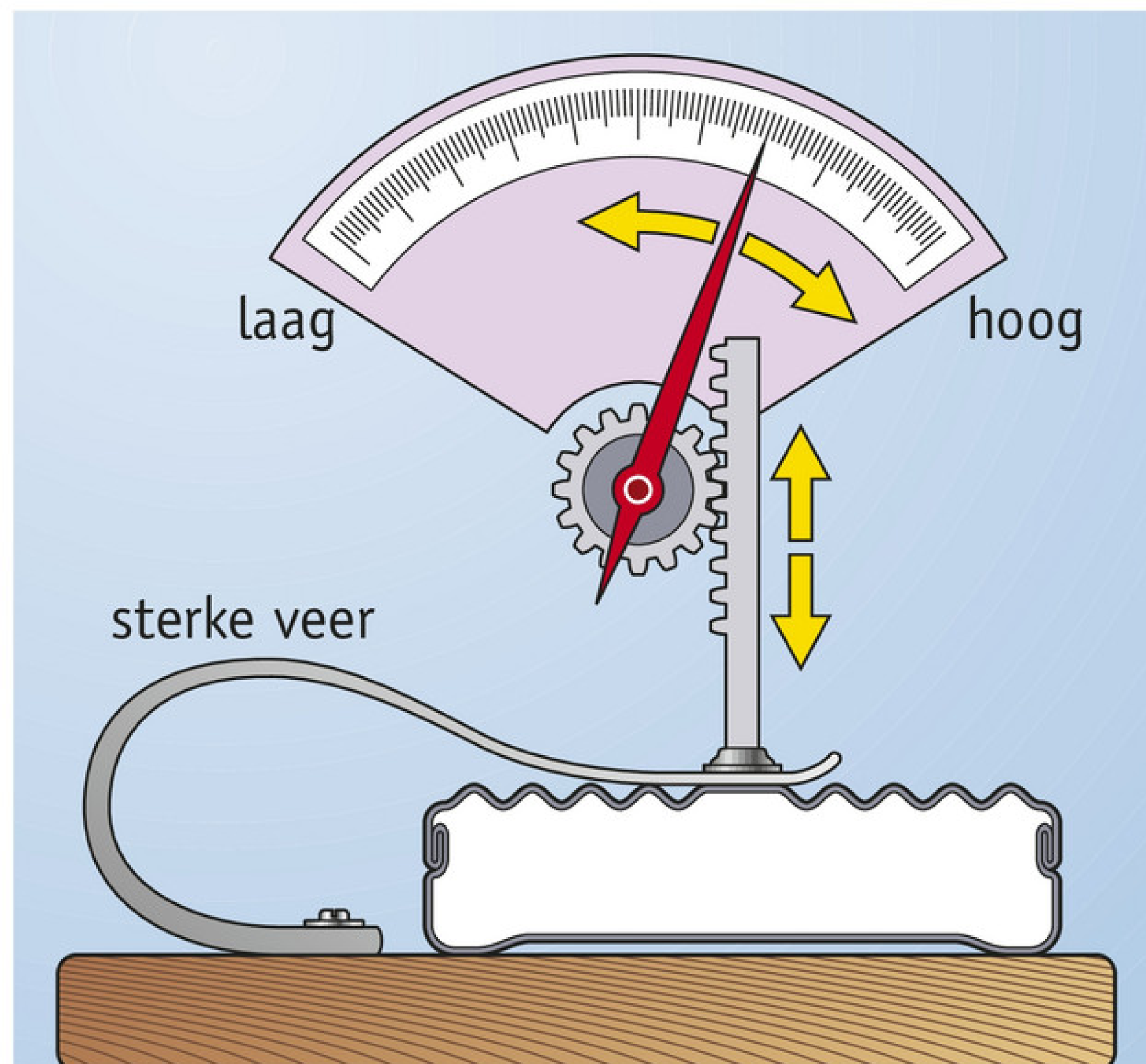
Barometers

Met een **barometer** kun je meten hoe groot de luchtdruk is. In figuur 13 zie je een zogenaamde metaalbarometer. Hierin zit een metalen doosje waar de lucht grotendeels uitgepompt is. Een sterke veer zorgt ervoor dat de luchtdruk het doosje niet helemaal plat kan drukken. De boven- en de onderkant van het doosje zijn geribbeld en erg dun, en kunnen daardoor gemakkelijk op en neer bewegen.



▶ **figuur 13**
een barometer

Als de luchtdruk groter wordt, zal het doosje een beetje meer in elkaar worden gedrukt: de bovenkant van het doosje zal iets naar beneden bewegen. Als de luchtdruk kleiner wordt, gebeurt het omgekeerde: de bovenkant van het doosje beweegt dan iets naar boven. De bewegingen van de bovenkant van het doosje worden overgebracht op een wijzer. Deze geeft de grootte van de luchtdruk aan op een wijzerplaat (figuur 14).



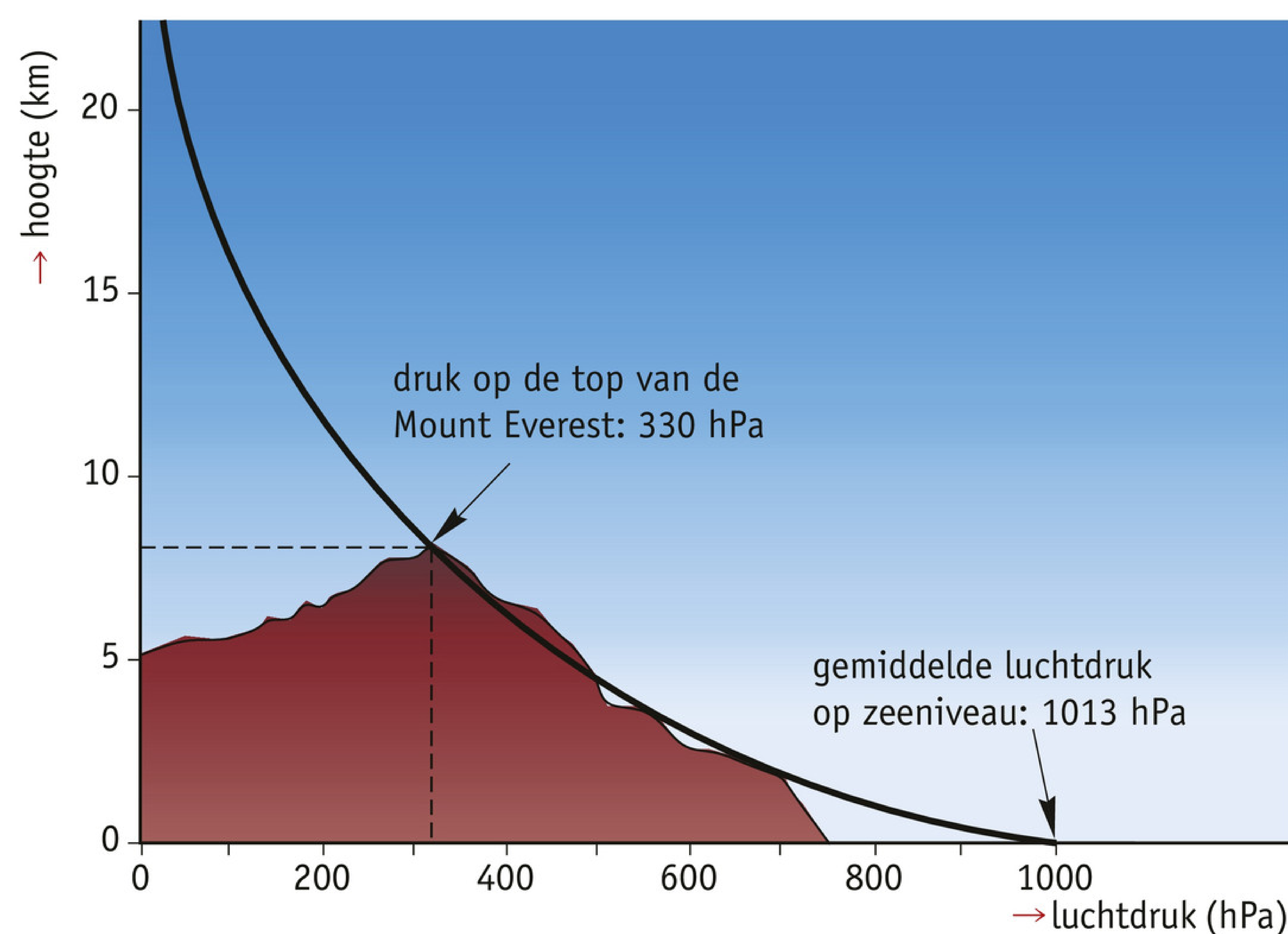
▲ **figuur 14**
Zo werkt een barometer (schematisch).

De grootte van de luchtdruk

De eenheid van druk is de pascal (Pa). In het weerbericht wordt de luchtdruk opgegeven in hectopascal (hPa). 1 hPa = 100 Pa. Op barometers en op weerkaartjes wordt de luchtdruk vaak aangegeven in de oude eenheid millibar (mbar). In feite maakt dat geen verschil, want 1 mbar is precies even groot als 1 hPa.

Als je regelmatig op een barometer kijkt, merk je dat de luchtdruk veranderlijk is. De ene dag kan de druk een flink stuk hoger of lager zijn dan de andere. Dat wil niet zeggen dat de luchtdruk zomaar elke waarde kan krijgen. Op zeeniveau wordt de luchtdruk vrijwel nooit lager dan 950 hPa of hoger dan 1050 Pa. Gemiddeld is de luchtdruk op zeeniveau 1013 hPa. Deze waarde ligt daarom ruwweg in het midden van de schaalverdeling.

De luchtdruk neemt af met de hoogte: hoe hoger je komt, des te kleiner is de luchtdruk (figuur 15). Dat komt doordat de hoeveelheid lucht boven je hoofd steeds kleiner wordt, als je omhooggaat. Op 5,5 km boven zeeniveau ligt de helft van de moleculen in de atmosfeer al beneden je. De luchtdruk is daarom op die hoogte ook maar de helft van de druk op zeeniveau.



▶ **figuur 15**
het verband tussen de hoogte en de luchtdruk

Plus Luchtdruk en kookpunt

In het hooggebergte is de luchtdruk een flink stuk lager dan op zeeniveau. Dat merk je niet alleen doordat je in de bergen sneller in ademnood komt. De luchtdruk heeft ook invloed op de hoogte van het kookpunt: als de luchtdruk afneemt, gaat ook het kookpunt naar beneden. Dat komt doordat dampbellen zich gemakkelijker kunnen vormen, als de luchtdruk – die zo'n dampbel in elkaar probeert te drukken – minder groot is.

In tabellen wordt als regel het kookpunt vermeld bij 1013 hPa, de gemiddelde luchtdruk op zeeniveau. Het kookpunt van water is bij die luchtdruk 100 °C. Als je omhooggaat, wordt het kookpunt langzaam lager. Op 5,5 km hoogte kookt water bij 80 °C. Dat merk je als je op die hoogte eten gaat koken: het duurt veel langer voor het voedsel gaar is.

opgaven

Leerstof

12 Beantwoord de volgende vragen.

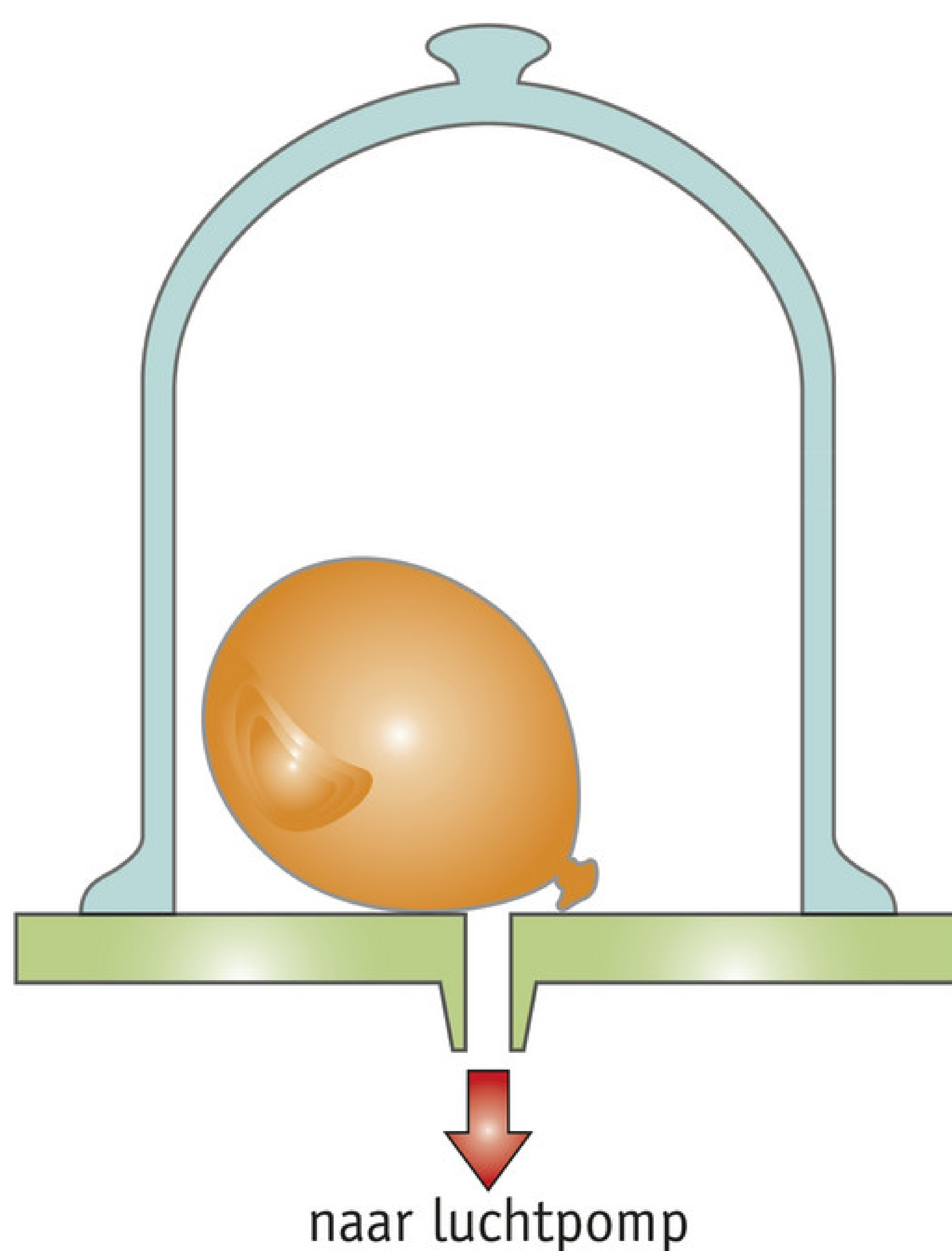
- **a** Wat is de oorzaak van de druk die de atmosfeer op je uitoefent?
- **b** Met welk meetinstrument kun je de hoogte van de luchtdruk meten?
- **c** In welke eenheid wordt de luchtdruk opgegeven in het weerbericht?
- **d** Hoe groot is de gemiddelde atmosferische druk op zeeniveau?
- **e** Op welke hoogte is de luchtdruk 50% van de druk op zeeniveau?

13 Alle lucht boven je heeft bij elkaar een fors gewicht. Het gewicht dat op je borstkas drukt, is ruwweg even groot als dat van een flinke personenauto.
Hoe komt het dat je borstkas toch niet in elkaar wordt gedrukt?

Toepassing

14 Jesse legt een half opgeblazen ballon onder een glazen stolp. Daarna zet hij een luchtpomp aan die de lucht onder de stolp wegpompt (figuur 16).

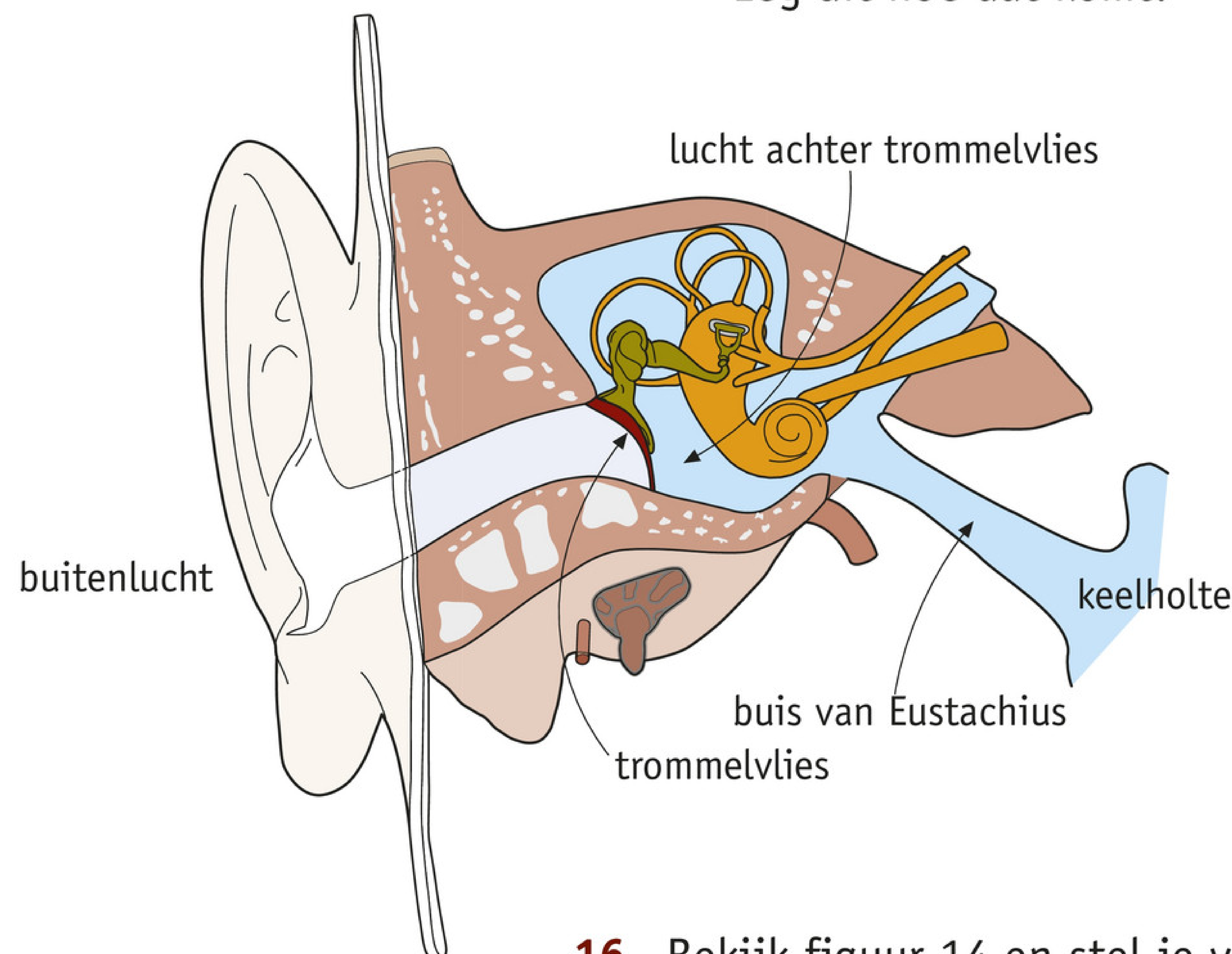
- **a** Hoe ziet de ballon eruit, als (bijna) alle lucht onder de stolp is weggepompt?
- **b** Geef hiervoor een verklaring. Gebruik de woorden 'luchtdruk' en 'tegendruk'.
- **c** Je kunt de ballon vervangen door een dot scheerschuim of een chocozoen.
  Leg uit hoe het komt dat je dan iets vergelijkbaars ziet gebeuren.



▲ **figuur 16**
een proef met een half opgeblazen ballon

15 Als je met een auto tegen een hoge heuvel oprijdt, kun je last van je oren krijgen. Er is dan een drukverschil tussen de buitenlucht en de lucht achter het trommelvlies (figuur 17).

- **a** Aan welke kant van het trommelvlies is de druk dan het grootst?
- **b** Als je naar beneden gaat, kunnen je oren weer pijn gaan doen. Aan welke kant van het trommelvlies is de druk nu het grootst?
- **c** Als de buis van Eustachius verstopt is, merk je drukverschillen het best. Leg uit hoe dat komt.



▲ **figuur 17**
een oor in doorsnede

16 Bekijk figuur 14 en stel je voor dat de luchtdruk langzaam groter wordt.

- **a** Wat gebeurt er dan met de geribbelde bovenkant van het doosje?
- **b** In welke richting zal de wijzer van de barometer dan bewegen?

17 De schaalverdeling op een barometer loopt van 950 tot 1050 mbar. Leg uit:

- **a** waarom de ontwerpers ervoor gekozen hebben om te beginnen bij 950 en te stoppen bij 1050 mbar.
- **b** hoe het komt dat je met zo'n barometer overal in Nederland probleemloos de luchtdruk kunt meten.
- **c** waarom zo'n barometer in landen zoals Oostenrijk of Zwitserland niet overal bruikbaar is.

18 Ed gaat een berg beklimmen. Voor zijn tocht heeft hij een zakje chips gekocht en dat in zijn rugzak gedaan. Op de top van de berg blijkt dat het zakje bol is gaan staan.
Geef hiervoor een verklaring.

19 💻 Zoek op internet informatie over de hoogtemeter in een vliegtuig.

- **a** Hoe werkt de drukhoogtemeter die in veel vliegtuigen gebruikt wordt?
- **b** In welke eenheid wordt de vlieghoogte internationaal uitgedrukt?
- **c** Ten opzichte van welk niveau wordt de vlieghoogte gemeten?
- **d** Waarom geeft de verkeersleiding voor vertrek de plaatselijke luchtdruk door?

***20** Bij deze opgave heb je werkblad 4-1 nodig.
Rheza heeft bij een prijsvraag een ballonvaart gewonnen. Voor ze vertrekken, vertelt de piloot haar waarom hij een barometer aan boord heeft: "Met een barometer kun je je hoogte bepalen. Als vuistregel kun je aannemen dat een drukverschil van 10 mbar overeenkomt met een hoogteverschil van 80 m. Dat is niet exact, maar voor de hoogte waarop wij vliegen, is het nauwkeurig genoeg."
In tabel 1 zie je hoe de druk de eerste vijf minuten van de ballonvaart afneemt.

a Neem de tabel over.
Bereken de ontbrekende hoogtes en noteer ze in de tabel.
b Maak het (hoogte,tijd)-diagram op het werkblad af.
c Stel dat de luchtdruk aan de grond daalt na het opstijgen van de ballon.
Wat betekent dat voor de hoogtes die je bij a berekend hebt: is de werkelijke hoogte dan groter of juist kleiner? Leg uit.

▼ **tabel 1** een ballonvaart

tijd (min)	druk (mbar)	hoogte (m)
0	1015	
1	988	
2	976	
3	970	
4	965	
5	962	
6	961	

Plus Luchtdruk en kookpunt

21 Theo doet een proef met een luchtpomp. Hij vult een bekerglas voor de helft met water (op kamertemperatuur) en zet het onder een glazen stolp. Daarna pompt hij de lucht onder de stolp vandaan. Al snel begint het water in het bekerglas dan te koken.
Waardoor gaat water al bij kamertemperatuur koken, als je de omringende lucht wegpompt? Leg uit.

***22** La Paz in Bolivia is de hoogst gelegen hoofdstad ter wereld, op 3800 m boven zeeniveau. Aan het leven op deze hoogte moet je je leren aanpassen. Er is zelfs een speciaal kookboek geschreven voor het koken op grote hoogte.

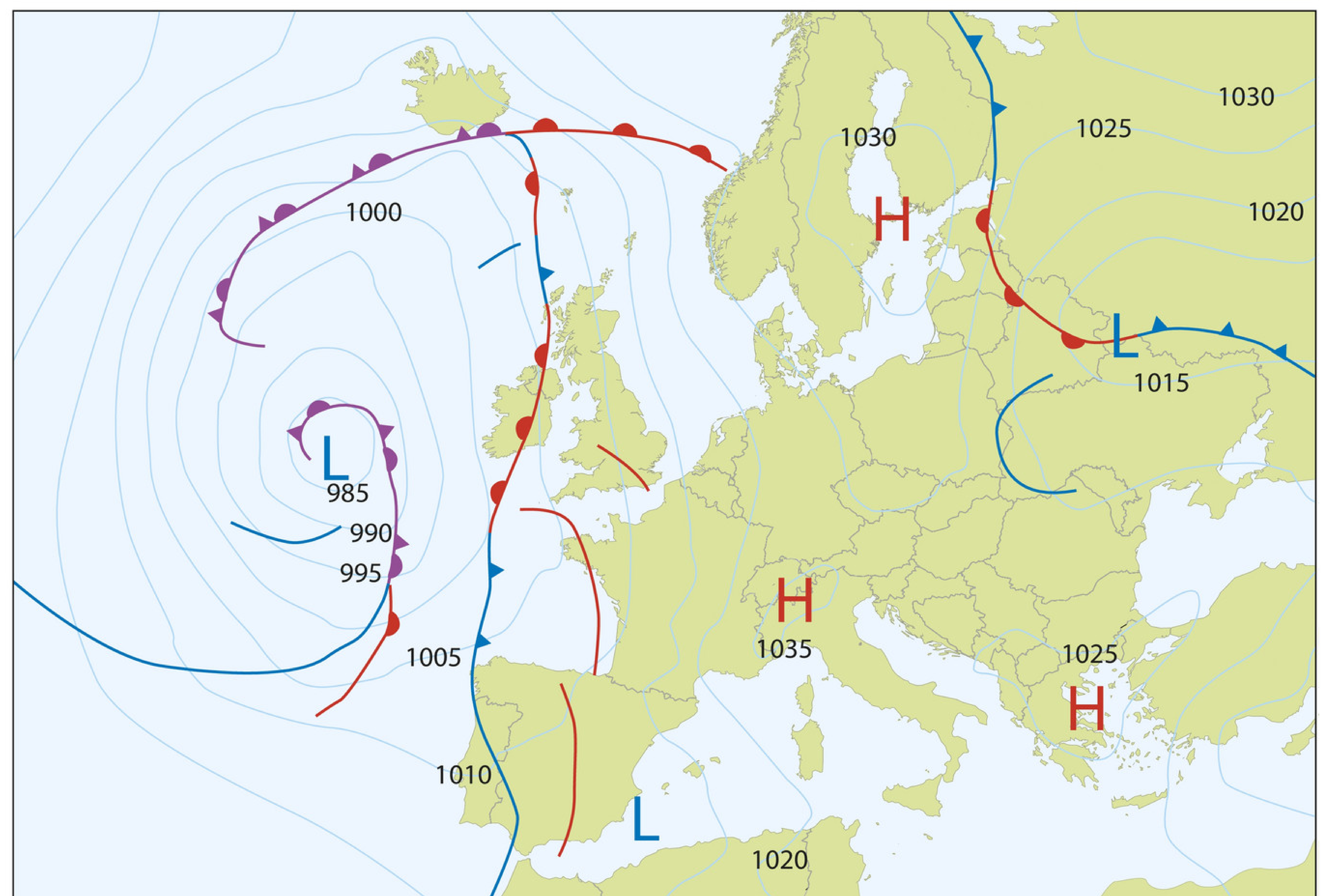
a Waarvoor zal het kookboek je ongetwijfeld waarschuwen, als het over het koken van aardappels gaat?
b In het kookboek staat: "Houd er rekening mee dat brooddeeg op grote hoogte veel sneller rijst dan op zeeniveau."
Leg uit waardoor dit verschil in rijstijd veroorzaakt wordt (zelf bedenken).
c In een reisgids staat de tip: "Als u graag op tijd eet, is het beslist de moeite waard om een hogedrukpan aan te schaffen." In een hogedrukpan is de druk hoger dan de atmosferische druk buiten de pan.
Leg uit waarom het aanschaffen van zo'n pan helpt om op tijd te eten.

3 Wind

De luchtdruk verschilt van plaats tot plaats. Als de luchtdruk in Amsterdam 1015 mbar is, kan de druk in Londen best 1020 mbar zijn en in Berlijn 1010 mbar. Door het verschil in luchtdruk komt de lucht in beweging en ontstaat er wind.

Hoge druk en lage druk

Weerkundigen verzamelen metingen van een groot aantal weerstations. Daardoor weten ze hoe groot de luchtdruk overal op de wereld is. Ze vatten al die gegevens samen door **isobaren** op een weerkaart te tekenen: lijnen die plaatsen met dezelfde druk met elkaar verbinden. Op de weerkaart in figuur 18 is het drukverschil tussen twee opeenvolgende isobaren steeds 5 hPa (figuur 18).



▶ figuur 18
een weerkaart

Sommige gebieden op de weerkaart worden helemaal omsloten door een of meer isobaren. Als de luchtdruk in zo'n gebied hoger is dan erbuiten, gaat het om een **hogedrukgebied**. Als de luchtdruk in zo'n gebied lager is dan erbuiten, heb je te maken met een **lagedrukgebied**. Op een weerkaart krijgen hogedrukgebieden een hoofdletter H, lagedrukgebieden een hoofdletter L.

In een hogedrukgebied is het weer meestal rustig en zonnig. In het voorjaar en najaar bestaat er ook kans op mist. Een lagedrukgebied brengt vaak wisselvallig weer, met veel wind en neerslag. Je kunt een barometer

dus gebruiken als hulpmiddel om het weer te voorspellen. Als de luchtdruk stijgt, is dat een aanwijzing dat het weer zal verbeteren. Als de luchtdruk daalt, is de kans groot dat het weer gaat verslechteren.



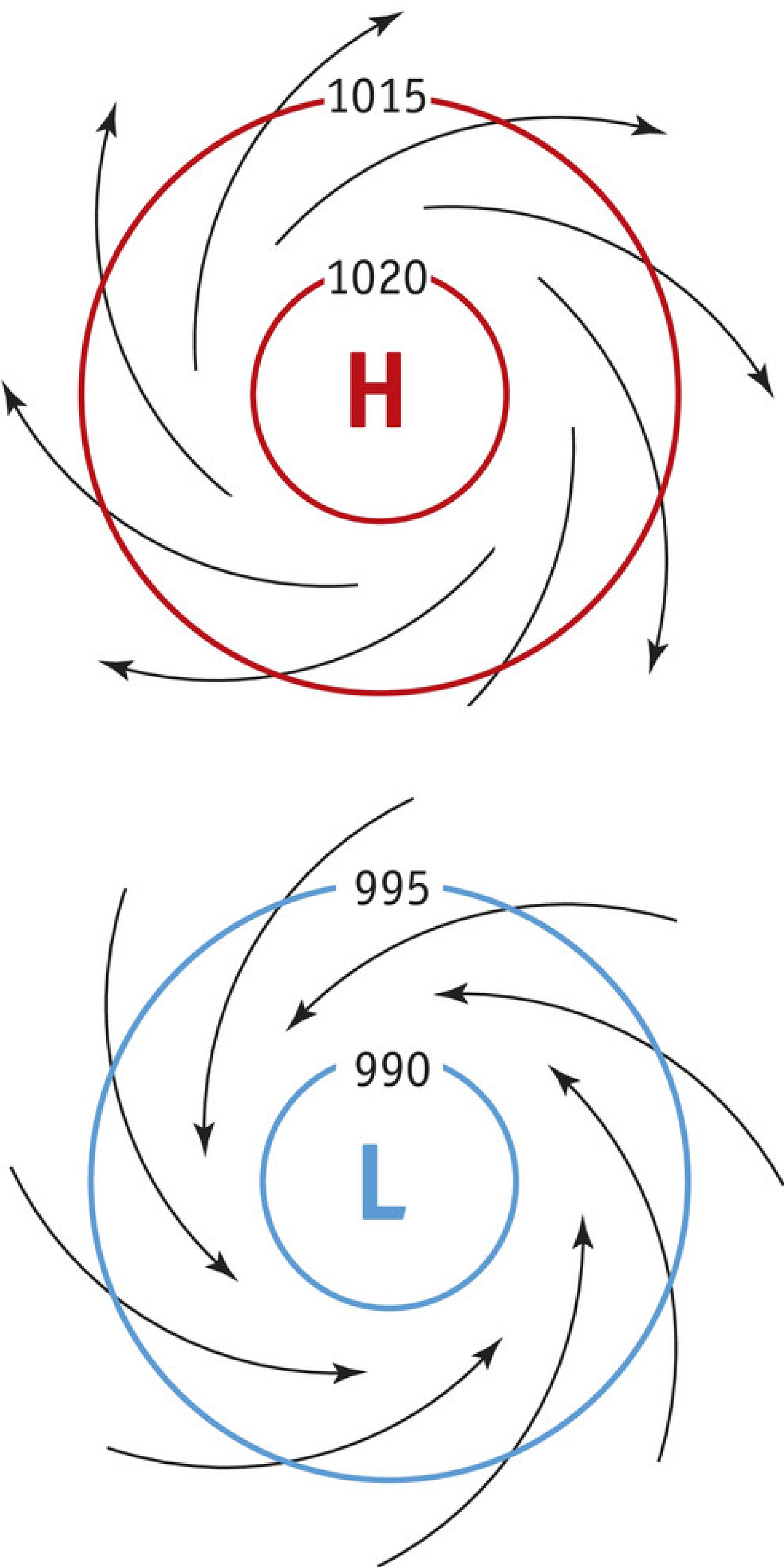
▲ **figuur 19**
een windvaan (links) en een windsnelheidsmeter (rechts)

Windrichting en windsnelheid

Voor weerkundigen zijn de **windrichting** en de **windsnelheid** belangrijke gegevens. De windrichting is de richting waar de wind vandaan komt. Je kunt de windrichting bepalen met behulp van een windvaan. De windsnelheid is de snelheid van de bewegende lucht. Je kunt die snelheid meten met een windsnelheidsmeter (figuur 19). In het weerbericht wordt vaak de windkracht volgens Beaufort genoemd. In tabel 2 zie je wat het verband is tussen de windsnelheid in km/h en de windkracht volgens de beaufortschaal.

Wind ontstaat door drukverschillen in de atmosfeer. Als de aarde stilstond, zou de lucht rechtstreeks van de plaats met de hoogste luchtdruk naar de plaats met de laagste luchtdruk bewegen. Drukverschillen zouden dan maar kort bestaan. In werkelijkheid draait de aarde een keer per 24 uur om haar as. Dit heeft tot gevolg dat de wind afbuigt en rond een hoge- of lagedrukgebied gaat draaien.

In figuur 20 is getekend hoe de wind waait op het noordelijk halfrond. Rond een lagedrukgebied draait de wind tegen de wijzers van de klok in. De wind beweegt in een spiraal naar het centrum van het lagedrukgebied toe. Hoe dichter de isobaren bij elkaar liggen, des te groter is de windsnelheid. Rond een hogedrukgebied draait de wind met de wijzers van de klok mee, bij het centrum van het hogedrukgebied vandaan.



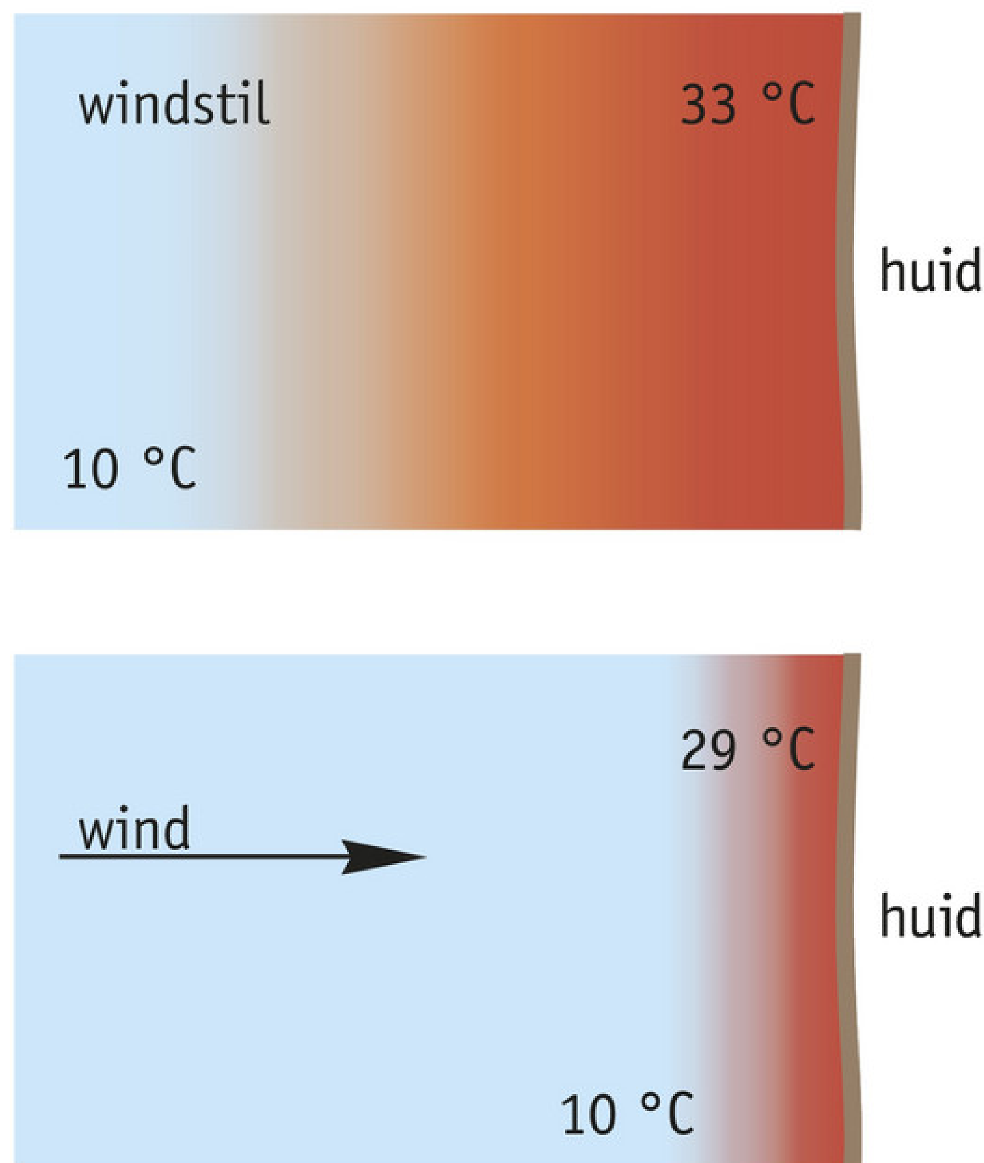
▲ **figuur 20**
Zo waait de wind op het noordelijk halfrond

▼ **tabel 2** de schaal van Beaufort

windkracht	gemiddelde windsnelheid (km/h)	benaming
0	<1	windstil
1	1–5	zwak
2	5–11	zwak
3	11–19	matig
4	19–28	matig
5	28–38	vrij krachtig
6	38–49	krachtig
7	49–61	hard
8	61–74	stormachtig
9	74–88	storm
10	88–102	zware storm
11	102–117	zeer zware storm
12	>117	orkaan

Wind brengt afkoeling

Als het in het voorjaar zonnig en windstil weer is, merk je nauwelijks dat de lucht om je heen nog koud is. Dat komt doordat het laagje lucht dat direct aan je huid grenst, snel opwarmt. Zo'n laagje warme lucht werkt **isolerend**: het zorgt ervoor dat je lichaam maar weinig warmte kwijtraakt aan de koude buitenlucht. Daardoor ervaar je de temperatuur algauw als aangenaam, zeker als de zon ook nog schijnt.



▲ **figuur 21**
de temperatuur van de lucht rond het lichaam: boven bij windstil weer, onder als het waait

Als het op zo'n lentedag begint te waaien, krijg je het opeens koud. Het voelt alsof de temperatuur van de lucht plotseling daalt. Maar als je op een weerthermometer kijkt, zie je dat die nog steeds dezelfde temperatuur aangeeft. Blijkbaar is het alleen de wind die je lichaam af laat koelen. De luchttemperatuur is niet veranderd.

De wind heeft dit afkoelende effect, doordat die het isolerende laagje warme lucht rond je lichaam wegblaast. Hierdoor kan de koude buitenlucht vlak bij je lichaam komen (figuur 21). Dat heeft tot gevolg dat je lichaam meer warmte gaat verliezen. Je huid koelt af en je krijgt het koud.

Als je bezweet bent, koel je nog sterker af. Dat komt doordat de wind het zweet op je huid sneller laat verdampen. Het verdampende zweet onttrekt veel warmte aan je lichaam. Sporters kunnen daarom na een zware wedstrijd gemakkelijk te veel afkoelen. Daarom zie je ze na de finish vaak meteen iets warms aantrekken.

Isoleren met lucht

Lucht is een goede **warmte-isolator**. De donsvulling van een windjack houdt je warm, doordat hij voor een groot deel uit lucht bestaat. Die lucht vormt een isolerende laag tussen je warme lichaam en de buitenlucht van bijvoorbeeld 10 °C. In de isolatielaag daalt de temperatuur gelijkmatig van circa 30 °C vlak bij je lichaam tot 10 °C aan de buitenkant van de jas.

Doordat de lucht in het dons zit 'opgesloten', kan hij niet gemakkelijk door de wind weggeblazen worden. De buitenkant van een windjack wordt bovendien van een dicht geweven stof gemaakt, dat de wind effectief tegenhoudt. Daardoor blijft de isolerende luchtlaag rond je lichaam in stand, ook als het stevig waait.

Als je een windjack aantrekt, heb je het niet meteen lekker warm. Het duurt even voordat de lucht in de donsvulling is opgewarmd. Pas als jouw lichaamswarmte de lucht in de donsvulling op temperatuur heeft gebracht, voel je je echt behaaglijk (figuur 22).



▲ **figuur 22**
Het dons in een windjack dankt zijn isolerende werking aan de lucht die erin zit.

Plus De gevoelstemperatuur

Het weerbericht vermeldt 's winters soms, behalve de echte temperatuur, ook de **gevoelstemperatuur**. De weerkundigen willen daarmee duidelijk maken hoe koud het op dat moment voor je gevoel is. Als het hard waait, voelt –5 °C even koud aan als –18 °C bij rustig weer. Dat komt doordat je lichaam in beide situaties even snel warmte verliest. In het weerbericht wordt dan gezegd: "De gevoelstemperatuur is vandaag 18 graden onder nul."

De gevoelstemperatuur wordt alleen in het weerbericht vermeld als het echt flink koud is: bij een gevoelstemperatuur van –15 °C of lager. Vanaf die waarde bestaat er het risico dat onbedekte lichaamsdelen bevriezen. Als de gevoelstemperatuur onder –20 °C ligt, kunnen ook warm geklede mensen gemakkelijk door de kou bevangen worden. Voor een goede bescherming heb je dan extra winddichte kleding nodig (figuur 23).



▶ **figuur 23**
Bij de Elfstedentocht in 1997 lag de gevoelstemperatuur onder de –15 °C.

opgaven

Leerstof

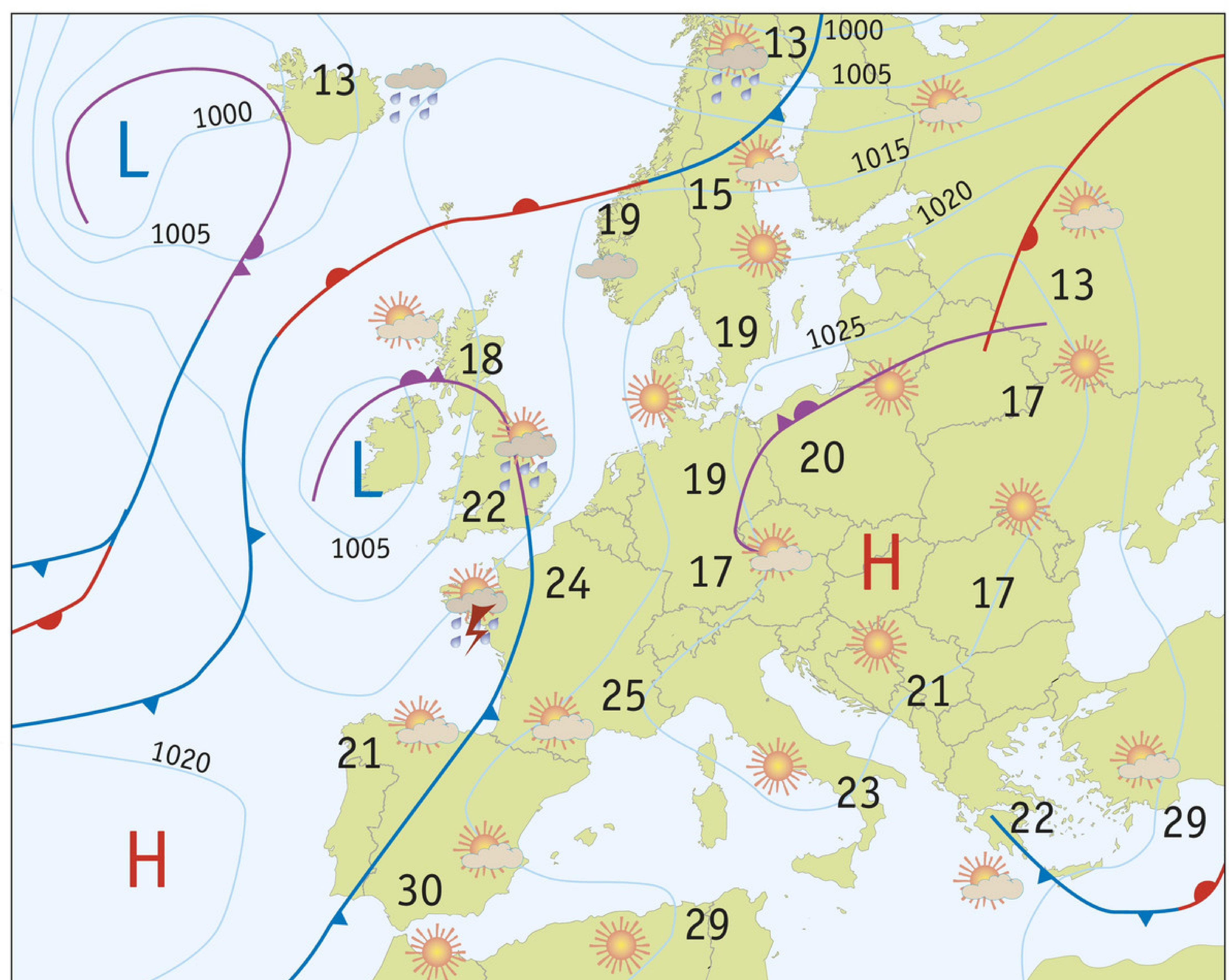
23 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Hoe heten de 'lijnen van constante druk' die je op een weerkaart ziet?
- **b** Wat voor weer brengt een hogedrukgebied doorgaans met zich mee?
- **c** Hoe stroomt de lucht op het noordelijk halfrond rond een lagedruk-gebied?
- **d** Met welk meetinstrument bepaalt een meteoroloog de windrichting?

24 Bij windstil weer ervaar je de temperatuur al snel als aangenaam.
- **a** Hoe komt het dat je lichaam bij windstil weer maar weinig warmte kwijtraakt?
- **b** Als later op de dag opeens de wind opsteekt, krijg je het wel koud. Noteer twee oorzaken waardoor je lichaam dan meer warmte gaat verliezen.

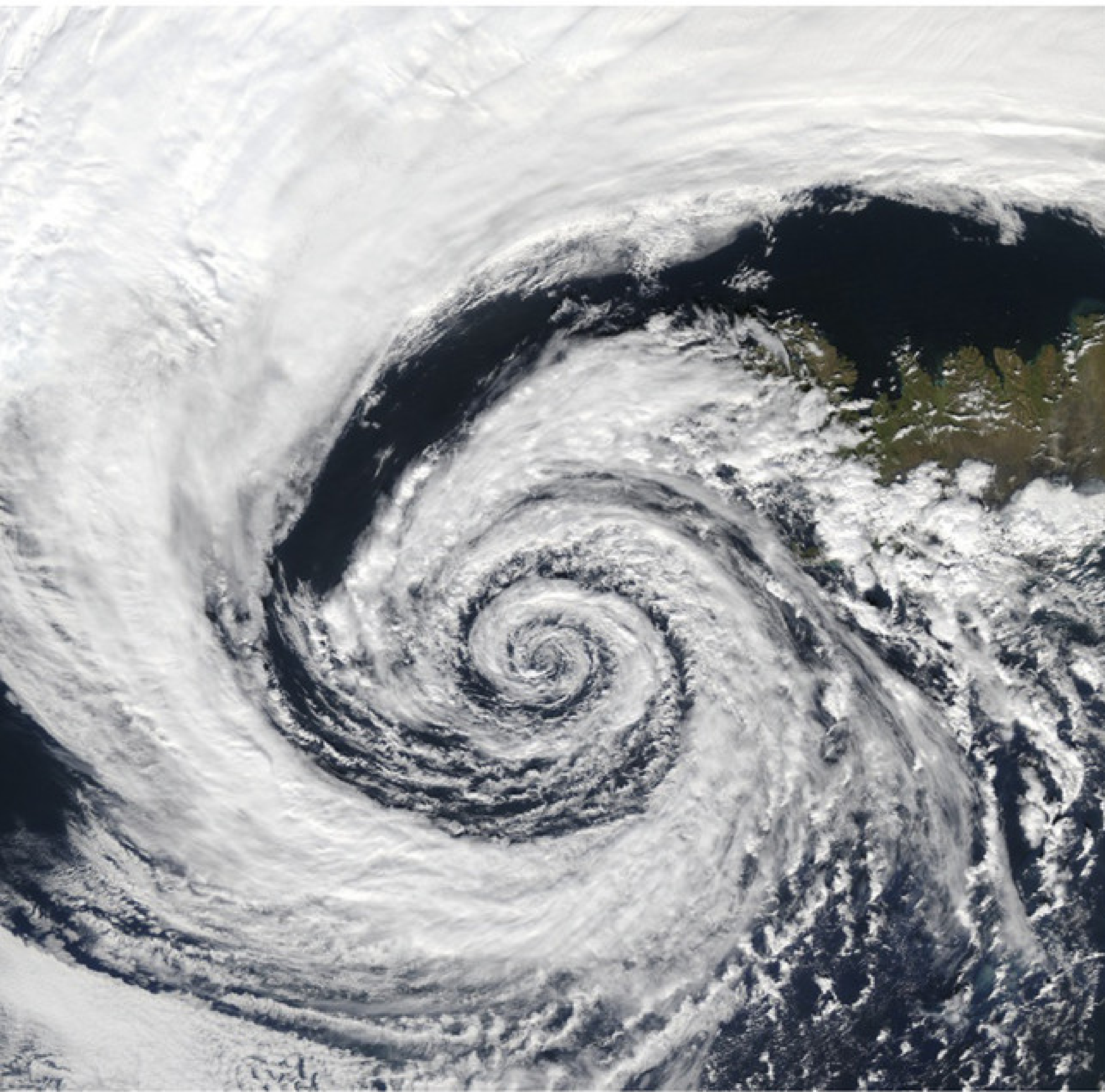
Toepassing

25 Je kunt een barometer gebruiken als hulpmiddel om het weer te voorspellen.
Wat voor weer wordt het waarschijnlijk, als de luchtdruk op één dag:
- **a** stijgt van 1010 naar 1025 hPa?
- **b** daalt van 1010 naar 980 hPa?

26 In figuur 24 is een weerkaartje afgebeeld.
- **a** Waar in Europa is op dit moment een hogedrukgebied?
- **b** Hoe is het weer in dat gebied?
- **c** Waar in Europa is op dit moment een lagedrukgebied?
- **d** Hoe is het weer in dat gebied?
- **e** Hoe hoog is de luchtdruk in Nederland?
- **f** Is dat een hoge, een lage of een gemiddelde waarde?



▶ **figuur 24**
een weerkaart



▲ **figuur 25**
een satellietfoto van een lagedrukgebied

27 In figuur 25 zie je een satellietfoto van een lagedrukgebied.
- **a** Waaraan kun je zien dat dit een foto is van een lagedrukgebied? Noteer twee dingen.
- **b** Waar bevindt het lagedrukgebied zich: op het noordelijk of op het zuidelijk halfrond? Waaruit maak je dat op?
- **c** Schets hoe de wind rond het centrum van het lagedrukgebied draait. Geef dit centrum aan met een hoofdletter L.
- **d** Op een weerkaartje dat op dezelfde dag gemaakt is, liggen de isobaren rond het lagedrukgebied vlak bij elkaar.
  Wat kun je daaruit concluderen over de wind?

28 Sanna fietst met 22 km/h over een fietspad. Ze heeft de wind in haar rug, maar met de snelheid waarmee ze fietst, voelt ze helemaal geen wind.
- **a** Hoe groot is de windsnelheid blijkbaar op dat moment?
- **b** Met welke windkracht komt die windsnelheid overeen?
- **c** Sanna krijgt het warm. Ze stapt af om haar trui uit te doen, maar dan vindt ze het opeens erg fris.
  Geef hiervoor een verklaring.

***29** Hieronder staan drie uitspraken over de wind:
1. Er waait een matige wind.
2. Het is windkracht 4.
3. De gemiddelde windsnelheid is 25 km/h.

- **a** Welke uitspraak geeft de windsnelheid het meest precies aan? Licht je antwoord toe.
- **b** Welke uitspraak geeft de windsnelheid het minst precies aan? Licht je antwoord toe.
- **c** Petra zegt: “Elke stap op de beaufortschaal komt overeen met ongeveer 10 km/h windsnelheid erbij.”
  Voor welk deel van de schaal gaat deze bewering redelijk op? En voor welk deel niet?



▲ **figuur 26**
een spreeuw in de winter

30 Veel dieren kunnen rond hun lichaam een laag stilstaande lucht vasthouden (figuur 26).
- **a** Hoe maakt de spreeuw de laag stilstaande lucht rond zijn lichaam zo dik mogelijk?
- **b** Welk voordeel heeft de spreeuw van die laag stilstaande lucht?

***31** Huizen worden geïsoleerd om warmteverlies tegen te gaan. Hiervoor worden isolatiematerialen gebruikt zoals glaswol en polystyreen (ook wel ‘piepschuim’ of ‘tempex’ genoemd). Deze materialen bestaan voor een groot deel uit lucht.
Welk voordeel heeft die lucht, als je kijkt naar:
- **a** het doel waarvoor het materiaal wordt gebruikt?
- **b** de dichtheid van het materiaal?
- **c** de prijs van het materiaal?

Plus De gevoelstemperatuur

32 In het weerbericht wordt soms, behalve de 'gewone' temperatuur, ook de gevoelstemperatuur vermeld.

a Leg uit wat precies bedoeld wordt met 'de gevoelstemperatuur'.

b Waarom noemt het weerbericht de gevoelstemperatuur pas vanaf −15 °C?

33 Tijdens de Elfstedentocht van 4 januari 1997 speelde de wind een belangrijke rol, omdat die de rijders en toeschouwers sterk afkoelde. Lees het krantenartikel in figuur 27 over het verband tussen de wind en deze afkoeling.

a Tijdens de Elfstedentocht in 1997 was het 's morgens vroeg −12 °C bij een windkracht van 5 Beaufort.
Wat was toen de gevoelstemperatuur voor toeschouwers die in de wind stonden?

b Een van de deelnemers, Klaas, reed vlak voor Stavoren met de wind mee bij een temperatuur van −7 °C. De snelheid van Klaas was even groot als die van de wind: 13,4 m/s.
Hoe groot was de gevoelstemperatuur voor Klaas?

c Na Stavoren kreeg Klaas de wind tegen. Bovendien veroorzaakte hij ook nog een extra tegenwind door zijn eigen snelheid. De lucht stroomde daardoor met een snelheid van 15,6 m/s langs Klaas. De temperatuur van de lucht was nog steeds −7 °C.
Leg uit of de gevoelstemperatuur voor Klaas groot bevriezingsgevaar betekende volgens de tabel.

Windchill

De temperatuur zoals je die voelt, wordt bepaald door het warmteverlies van de huid. Dat warmteverlies is niet alleen afhankelijk van de luchttemperatuur, maar ook van de windsnelheid. Hoe harder de wind waait, hoe sneller je afkoelt en hoe kouder je je voelt. In de tabel is de 'gevoelstemperatuur' af te lezen. Ook is in de tabel aangegeven of er een groot gevaar voor bevriezing van de blote huid bestaat.

'Windchill'-factor

De gevoelstemperatuur bij verschillende windsnelheden en het risico voor bevriezing van de blote huid.

windsnelheid in...		**luchttemperatuur in °C**							
Beaufort	m/sec	**+10**	**+5**	**−1**	**−7**	**−12**	**−18**	**−23**	**−29**
0 stil	0,1	10	5	−1	−7	−12	−18	−23	−29
2 lichte bries	2,5	9	3	−3	−9	−15	−21	−26	−32
3 zachte bries	4,5	5	−2	−9	−16	−23	−30	−36	−43
4 matige bries	6,7	2	−6	−14	−21	−29	−36	−43	−50
4 matige bries	8,9	0	−8	−16	−24	−32	−40	−47	−55
5 stevige wind	11,2	−1	−9	−18	−26	−34	−42	−51	−59
6 krachtige wind	13,4	−2	−11	−19	−28	−36	−44	−53	−61
6 krachtige wind	15,6	−3	−12	−20	−29	−37	−45	−54	−63
7 matige storm	17,9	−3	−12	−21	−30	−38	−46	−55	−64
risico voor bevriezing		**klein**				**groot**			**zeer groot**

▶ **figuur 27**
Het hangt niet alleen van de temperatuur af, hoe koud je je voelt.

4 Wolken en neerslag

Water is een belangrijk bestanddeel van de atmosfeer. Het komt niet alleen voor als gas, maar ook als vloeistof en als vaste stof. Wolken ontstaan als water in de atmosfeer van fase verandert: van onzichtbare waterdamp in zichtbare waterdruppeltjes of ijskristallen (of een mengsel van die twee).

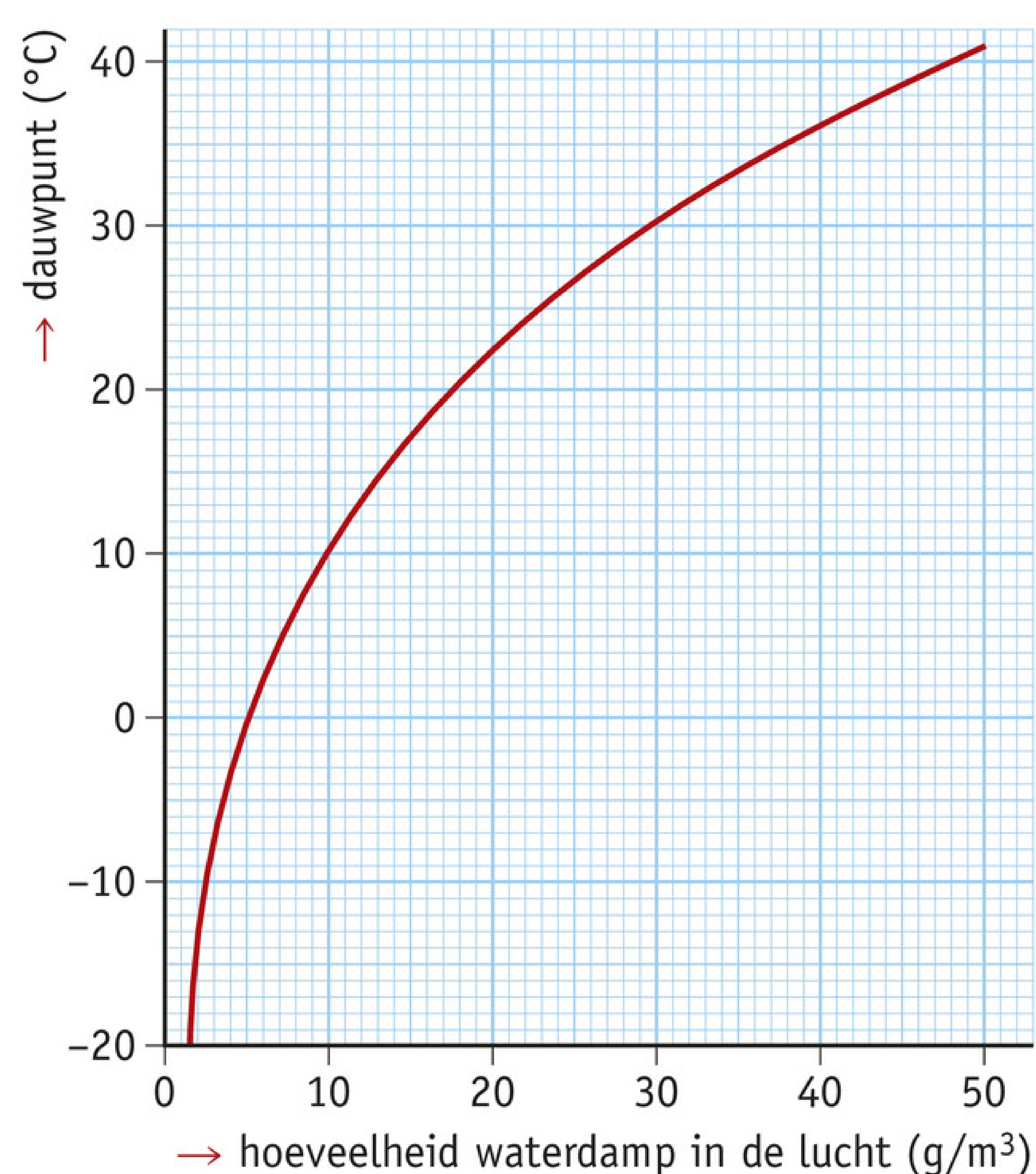


▲ **figuur 28**
Als het warm weer is, drogen natte kleren weer snel op.

Waterdamp in de lucht

Als water verdampt, wordt de waterdamp opgenomen door de lucht. Daardoor bevat de lucht om je heen altijd wel waterdamp: de ene keer meer, de andere keer minder. Hoe hoger de temperatuur, des te meer waterdamp kan de lucht bevatten. Daarom blaast een wasdroger warme lucht door het natte wasgoed. Warme lucht neemt het water veel gemakkelijker op dan koude lucht zou doen (figuur 28).

Als het overdag warm weer is, verdampt er veel water. De lucht neemt dan grote hoeveelheden waterdamp op. 's Nachts koelt de lucht weer af. Het teveel aan waterdamp condenseert dan in de vorm van kleine waterdruppeltjes. Die druppeltjes ontstaan vooral op plaatsen waar de lucht in contact komt met een koud oppervlak. Zo ontstaat dauw.



▲ **figuur 29**
het verband tussen de hoeveelheid waterdamp en het dauwpunt

Het dauwpunt

De temperatuur waarbij de waterdamp in de lucht gaat condenseren, wordt het **dauwpunt** genoemd. Die temperatuur is niet altijd even hoog. Hoe meer waterdamp de lucht bevat, des te hoger ligt het dauwpunt. In figuur 29 zie je hoe het verband tussen deze twee grootheden eruitziet. Bevat de lucht:

- 5 g waterdamp per m^3, dan is het dauwpunt 0 °C;
- 7 g waterdamp per m^3, dan is het dauwpunt 5 °C;
- 10 g waterdamp per m^3, dan is het dauwpunt 10 °C;
- enzovoort.

Als het helder weer is zonder wolken, koelt het 's nachts sterk af. De kans is dan groot dat de temperatuur daalt tot onder het dauwpunt. Daarom is het gras na een heldere herfstnacht vaak kletsnat van de dauw.

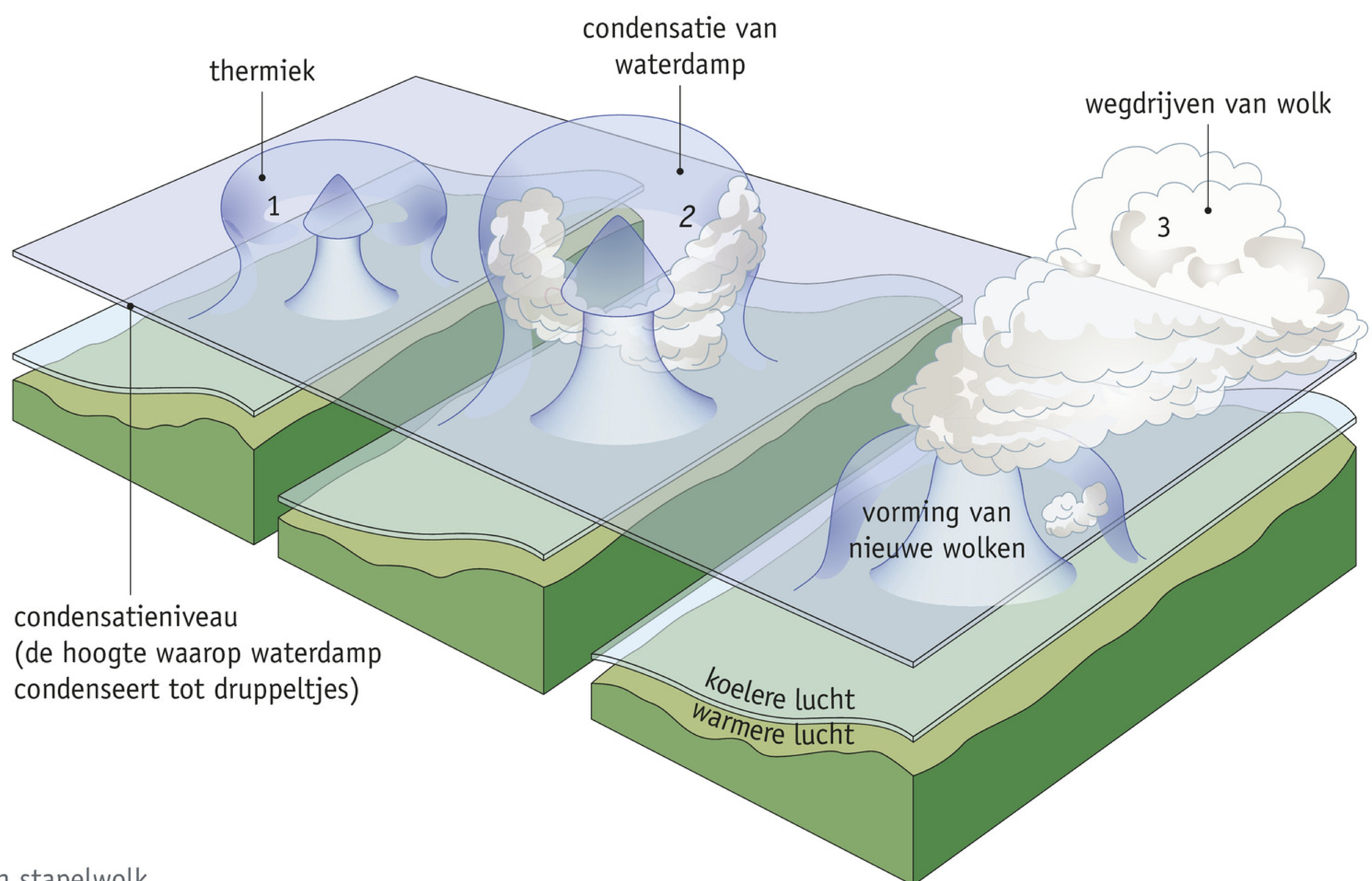
Het ontstaan van stapelwolken Proef 4 en 5

Als de zon het aardoppervlak verwarmt, wordt de bodem op de ene plaats warmer dan op de andere. Een kale zandvlakte wordt bijvoorbeeld heter dan een bosgebied. Als je op blote voeten rondloopt, kun je het verschil goed voelen. Op plaatsen waar de grond sterk opwarmt, wordt de lucht vlak boven de grond ook warmer. Zo ontstaan grote bellen met warme lucht.

Terwijl de lucht opwarmt, zet hij uit: het volume van de bellen met warme lucht wordt steeds groter. De warme lucht krijgt daardoor een kleinere dichtheid dan de omringende, koudere lucht. Dat heeft tot gevolg dat de bellen warme lucht omhoog bewegen alsof het onzichtbare heteluchtballonnen zijn. Je zegt dat er in de lucht een **convectiestroming** ontstaat: een stroming die wordt veroorzaakt door een plaatselijk temperatuurverschil.

Tijdens het stijgen zet de lucht in de bel verder uit en koelt af. Op een gegeven moment daalt de temperatuur tot onder het dauwpunt. De waterdamp in de luchtbel begint dan te condenseren. Er ontstaan heel kleine waterdruppels. De luchtbel wordt nu zichtbaar, in de vorm van een stapelwolk.

Een stapelwolk is aan de onderkant meestal vlak. Daar ligt het **condensatieniveau**: de hoogte waarop de waterdamp begint te condenseren (figuur 30). De top van een stapelwolk laat zien hoe hoog de bel met warme lucht gestegen is.



▲ **figuur 30**
het ontstaan van een stapelwolk

Mooiweerwolken en buienwolken

Hoe hoog een bel met warme lucht omhoog stijgt, hangt af van het temperatuurverloop in de atmosfeer. Als de lucht hoger in de atmosfeer relatief warm is, gaat een bel met warme lucht maar langzaam omhoog en bereikt geen grote hoogte.



▶ **figuur 31**
mooiweerwolken

Je krijgt dan een echte mooiweerwolk (figuur 31). Na verloop van tijd verdwijnt zo'n wolk weer, doordat de waterdruppeltjes in de wolk langzaam verdampen.

Als de lucht hoger in de atmosfeer relatief koud is, kunnen bellen met warme lucht een grote hoogte bereiken. Je krijgt dan grote wolken met een donkere onderkant (figuur 32). Boven in de wolken beginnen dan ijskristallen te groeien. De ijskristallen groeien tot ze te zwaar worden om door de opstijgende lucht te worden meegenomen, en vallen dan uit de wolk naar beneden.

Als de luchttemperatuur op lagere hoogte boven 0 °C ligt, smelten de ijskristallen voordat ze het aardoppervlak bereiken. In dat geval valt er regen. Als de luchttemperatuur op lagere hoogte onder of op 0 °C ligt, bereiken de ijskristallen het aardoppervlak wel zonder te smelten. Dan sneeuwt het.

Hagel ontstaat in hevige buien doordat waterdruppels vastvriezen aan ijsdeeltjes. Dat gebeurt alleen in wolken met krachtige opwaartse luchtstromen. In zo'n luchtstroom kunnen de hagelstenen steeds groter worden, doordat ze steeds nieuwe waterdruppels tegenkomen. Als ze ten slotte naar beneden vallen, ontstaat er vaak veel schade.



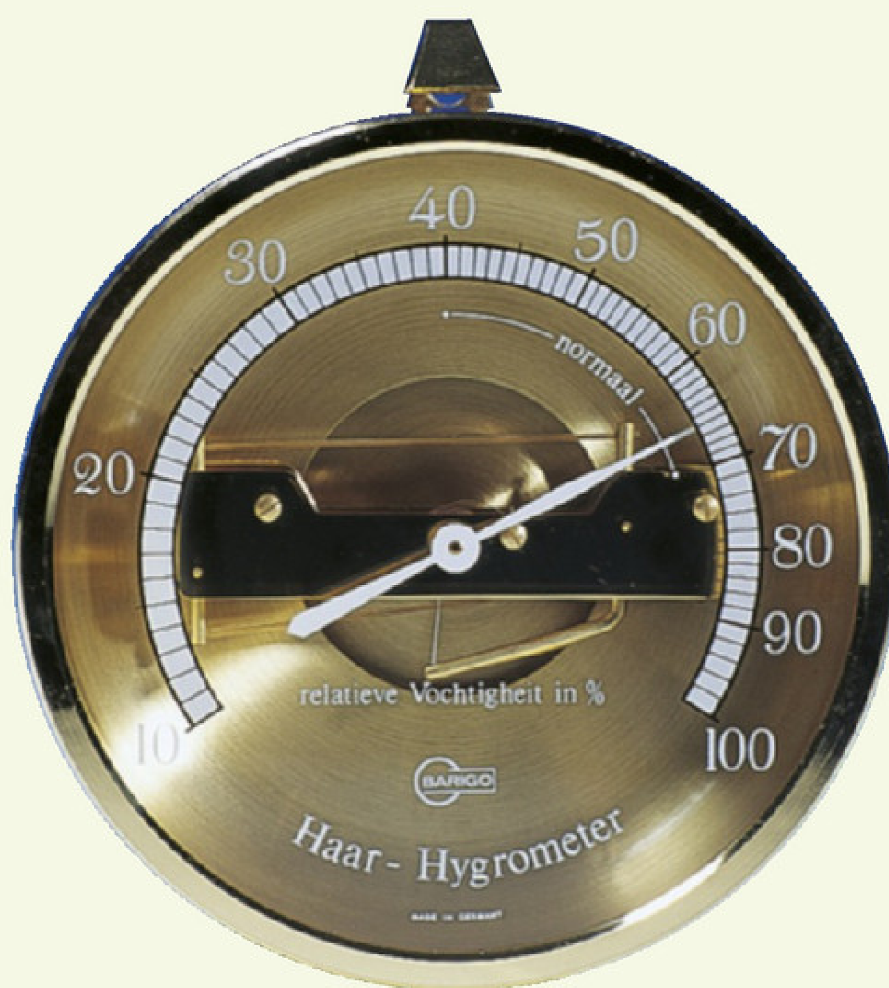
▶ **figuur 32**
buienwolken

Plus Luchtvochtigheid

Op een warme dag produceren de zweetklieren in je huid veel zweet. Doordat het zweet verdampt, koel je af en heb je minder last van de warmte. Als de lucht weinig waterdamp bevat, verdampt het zweet snel. Je krijgt het dan niet te warm. Als de lucht veel waterdamp bevat, verdampt het zweet langzaam. Je krijgt het dan erg warm en je huid voelt klam aan.

Met een hygrometer (figuur 33) kun je de **luchtvochtigheid** meten. De schaal op zo'n meter loopt van 0% tot 100%. Een luchtvochtigheid van 100% betekent dat de lucht de maximale hoeveelheid waterdamp bevat. Bij een temperatuur van 29 °C is dat bijvoorbeeld 30 g waterdamp per m^3. Het is dan 'erg drukkend weer'.

De luchtvochtigheid is 50% als de lucht de helft van de maximale hoeveelheid waterdamp bevat. Bij een temperatuur van 29 °C is dat 15 g waterdamp per m^3. Reken maar na: 15 : 30 = 0,5 = 50%



▲ **figuur 33**
een hygrometer

Voorbeeldopgave
Op een warme zomerdag is het 29 °C. De lucht bevat 12 g waterdamp per m^3.
Bereken hoe groot de luchtvochtigheid is.

De maximale hoeveelheid waterdamp bij 29 °C is 30 g per m^3.
De luchtvochtigheid is dus: 12 : 30 = 0,4 = 40%

opgaven
Leerstof

34 Neem over en vul in.
- **a** Als het overdag … is, neemt de lucht grote hoeveelheden waterdamp op.
- **b** 's Nachts condenseert een deel van de waterdamp weer, doordat de lucht …
- **c** De … waarbij de waterdamp begint te condenseren, noem je het dauwpunt.
- **d** Hoe meer waterdamp de lucht bevat, des te … ligt het dauwpunt.

35 Stapelwolken beginnen hun bestaan als opstijgende 'bellen' warme lucht.
- **a** Wanneer begint de waterdamp in zo'n luchtbel te condenseren?
- **b** Hoe komt het dat je de bel warme lucht voor die tijd niet kunt zien?

Toepassing

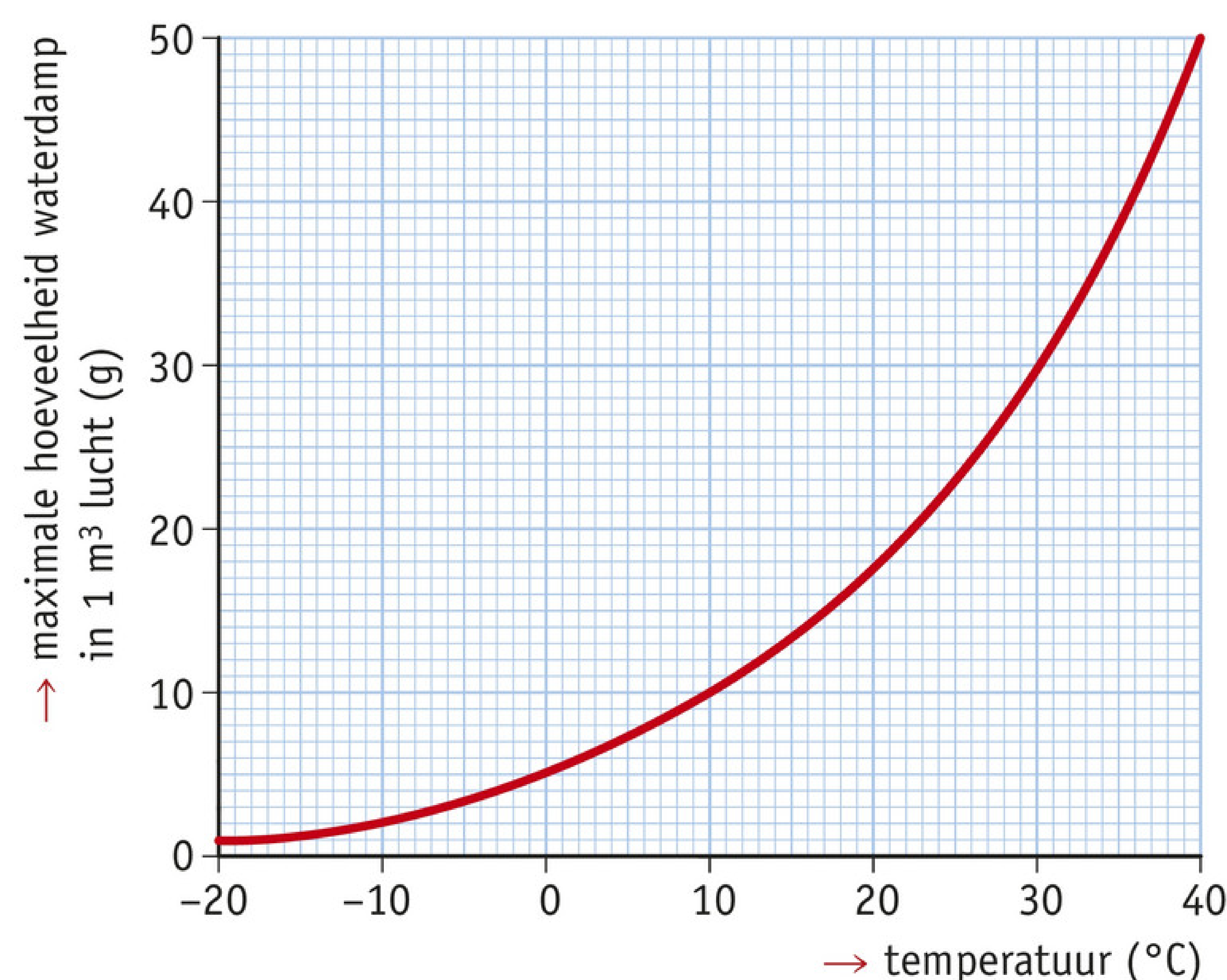
36 Lees de weerinformatie in figuur 34.
Hoe komt het:
- **a** dat de eerste wolken pas in de late ochtend verschijnen?
- **b** dat de bewolking pas tegen de avond weer verdwijnt?
- **c** dat het 's nachts en in de vroege ochtend helder blijft?

> Vaak gebeurt het dat de ochtend zonnig begint en dat het vervolgens een paar uur zonnig blijft. In de late ochtend verschijnen er opeens een paar wolkenpropjes aan de hemel en binnen een half uur tot een uur zit de lucht opeens behoorlijk vol met grotere stapelwolken. Deze weten zich vervolgens een groot deel van de middag te handhaven, waarbij het dan dus wisselend bewolkt is. Tijdens het vallen van de avond worden de opklaringen geleidelijk breder en rond zonsondergang lossen de laatste wolken snel op. Nog voor de meeste sterren tevoorschijn komen, is het opnieuw helder geworden.

▶ **figuur 34**
Wolken verschijnen en verdwijnen.

37 Als het overdag warm en 's nachts koud is, ontstaat er in Nederland vaak mist. In woestijngebieden is het overdag altijd erg heet en koelt het 's nachts sterk af. Toch mist het daar nooit.
Geef een verklaring voor dit verschil.

38 Zie figuur 35.
Aan het eind van een warme zomermiddag bevat de buitenlucht 16 g water per kubieke meter lucht. De temperatuur is dan 24 °C.
- **a** Kan deze lucht nog meer waterdamp bevatten? Hoe zie je dat in figuur 35?
- **b** In de loop van de avond en nacht daalt de temperatuur. Bij welke temperatuur zal de waterdamp in de lucht gaan condenseren?
- **c** De temperatuur daalt ten slotte tot 8 °C. Hoeveel gram waterdamp condenseert er uit elke kubieke meter lucht?



▶ **figuur 35**
het verband tussen de temperatuur en de maximale hoeveelheid waterdamp

***39** Weerkundigen laten regelmatig weerballonnen op waaraan een radiosonde met meetinstrumenten hangt.

a Welke meetinstrumenten heb je nodig om het verband te meten tussen de hoogte en de temperatuur?

b Hoe zit het met de kans op buien, als de temperatuur van de lucht sterk daalt bij toenemende hoogte?

c Hoe zullen de meetgegevens eruitzien als het een mooie zonnige dag wordt met maar weinig bewolking?

***40** Een luchtbel met warme lucht van 22 °C gaat omhoog. Het dauwpunt van deze lucht is 8 °C. Bij elke 100 m stijging daalt de temperatuur van de luchtbel met 0,5 °C.

a Bij welke temperatuur begint de waterdamp in de luchtbel te condenseren?

b Als de waterdamp begint te condenseren, ontstaat het begin van een stapelwolk.
Op welke hoogte bevindt zich de onderkant van de stapelwolk?



▲ **figuur 36**
een grote hagelsteen in doorsnede

41 Zoek op internet informatie over het ontstaan van hagel (figuur 36).

a Wat voor weersomstandigheden zijn nodig om hagelstenen te laten ontstaan?

b Hoe komt het dat hagelstenen vaak uit verschillende ijslaagjes zijn opgebouwd?

c Hoe groot kunnen hagelstenen worden en wat voor massa kunnen ze bereiken?

d Wat is het verschil tussen ‘harde’ of zomerhagel en ‘zachte’ of korrelhagel?

Plus Luchtvochtigheid

42 Als het buiten 25 °C is, kan het ‘mooi zomerweer’ zijn, maar ook ‘zeer drukkend’.
Waar hangt het van af of je het weer ervaart als aangenaam of als drukkend?

43 Op een hete zomerdag bevat de lucht 18 g waterdamp per m^3, terwijl hij op zijn hoogst 30 g/m^3 kan bevatten.
Bereken hoe groot de luchtvochtigheid is.

44 In een sauna kan de luchttemperatuur wel 80 °C zijn. Toch hebben de mensen in de sauna daar geen last van.
Hoe komt dat?

A De luchtvochtigheid is laag, zodat hun zweet snel verdampt.
B De luchtvochtigheid is laag, zodat hun zweet langzaam verdampt.
C De luchtvochtigheid is hoog, zodat hun zweet snel verdampt.
D De luchtvochtigheid is hoog, zodat hun zweet langzaam verdampt.

Practicum

Proef 1 Lucht is niet niks 15 min

Inleiding
Lucht is een onopvallende stof. Je kunt gemakkelijk vergeten dat een leeg glas eigenlijk een glas vol lucht is.

Doel
Bij deze proef zie je dat lucht niet niets is, maar een stof die ruimte inneemt.

Nodig
- ballon
- bekerglas
- kurk of houten blokje
- plastic maatcilinder
- vel papier

Uitvoeren en uitwerken
– Beweeg je hand snel door de lucht heen en weer.

1 Wat voel je? Hoe komt dat?

– Blaas de ballon een klein eindje op. Houd het uiteinde met je vingers dicht.

2 Kun je zien dat er iets – een hoeveelheid stof – in de ballon zit?

– Blaas de ballon een stukje verder op.

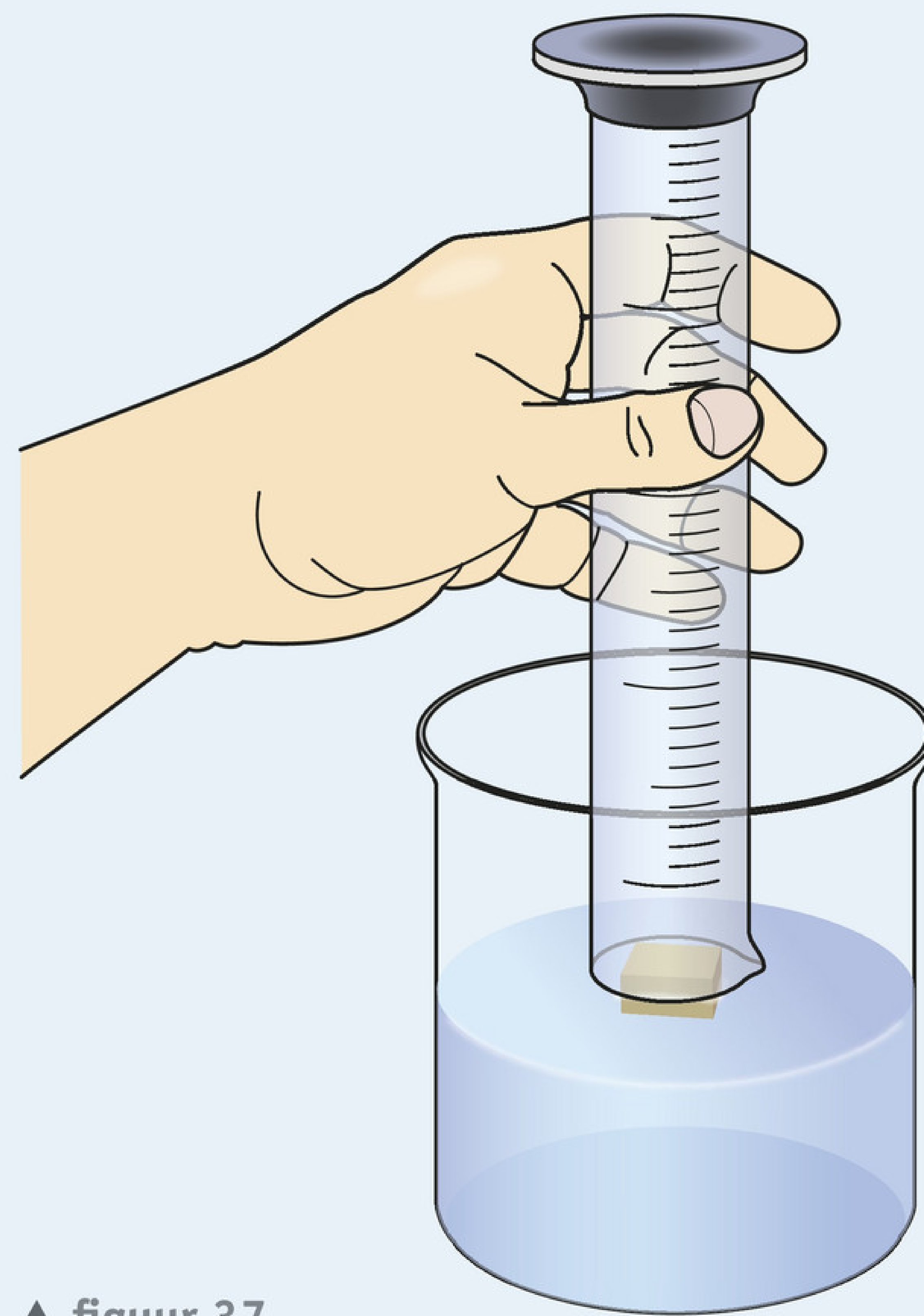
3 Wat kun je zeggen over de hoeveelheid stof in de ballon? Hoe weet je dat?

– Knijp in de ballon.

4 Waardoor ontstaat de stevigheid van de ballon?

– Vul een bekerglas voor de helft met water. Laat de kurk (of het houten blokje) in het water drijven.
– Zet de maatcilinder omgekeerd op het wateroppervlak, met de kurk eronder. Duw de maatcilinder daarna naar beneden (figuur 37).

5 Wat gebeurt er met de kurk (of het houten blokje)?
6 Hoe komt dat?



▲ figuur 37
Kijk wat er gebeurt, als je de maatcilinder omlaag duwt.

– Haal alles uit het water.
– Duw een prop papier stevig op de bodem van de maatcilinder, zodat hij daar blijft zitten, als je de maatcilinder omkeert.
– Keer de maatcilinder om en duw hem helemaal onder water.
– Haal de maatcilinder weer uit het water en voel aan de prop papier.

7 Hoe komt het dat het papier niet nat is?

Proef 2 Lucht oefent druk uit 15 min

Inleiding
De laag lucht om de aarde oefent druk uit op alles wat zich op aarde bevindt. Vaak merk je daar niet zoveel van. Daarom zijn er verschillende proeven bedacht om je de effecten van de luchtdruk te laten zien.

Doel
Bij deze proef zie je een effect van de druk die de atmosfeer uitoefent.

Nodig
- reageerbuis
- maatcilinder
- karton

Uitvoeren en uitwerken
– Vul de reageerbuis tot de rand met water.
– Keer de reageerbuis boven een gootsteen om.

1 Wat gebeurt er?

– Knip een stukje karton af dat de opening van de reageerbuis helemaal kan afsluiten.
– Vul de reageerbuis tot de rand met water.
– Leg het stukje karton voorzichtig boven op de reageerbuis. Zorg ervoor dat er geen lucht onder het papier komt.
– Houd een vinger op het karton en draai de buis om boven de gootsteen.
– Laat het papier los, terwijl je de buis op de kop houdt.

2 Wat gebeurt er?

– Herhaal deze proef met de maatcilinder en een groter stuk karton.

3 Wat gebeurt er nu?
4 Bedenk een verklaring voor wat je gezien hebt.

Proef 3 Luchtdruk en tegendruk 20 min

Inleiding
Glaszetters gebruiken vacuümnappen om grote en zware ruiten op te tillen (figuur 38). Ze maken daarbij gebruik van het verschil tussen de luchtdruk buiten en de tegendruk onder de vacuümnap.



◀ **figuur 38**
Til de tafel voorzichtig een klein eindje op.

Doel
Je gaat onderzoeken hoe zuignappen werken waarmee je dingen kunt optillen en ophangen.

Nodig
- twee grote vacuümnappen
- mobielhouder met zuignap
- zuignap voor een handdoek
- plaatje met een ruw oppervlak

Uitvoeren en uitwerken
– Druk de grote vacuümnappen stevig op elkaar.
– Probeer de nappen van elkaar te trekken.

1 Wat merk je?

– Druk de twee vacuümnappen stevig op een tafel.
– Probeer de tafel op te tillen aan de vacuümnappen.

2 Leg uit hoe zo'n vacuümnap werkt. Gebruik de begrippen 'luchtdruk' en 'tegendruk'.

– Druk de zuignap van de mobielhouder op de tafel, zonder de hendel te gebruiken.
– Trek de zuignap los.

3 Wat voel je?

– Druk de zuignap opnieuw op de tafel, maar gebruik nu de hendel wel.
– Trek de zuignap los.

4 Wat is het verschil met de vorige keer, toen je de hendel niet gebruikte?
5 Leg uit wat de functie van de hendel is.

– Druk de zuignap voor de handdoek op de tafel. Controleer of hij goed vastzit door er aan te trekken.
– Trek een klein stukje van de rand van de zuignap omhoog.
– Ga hiermee door tot de zuignap loslaat.

6 Waardoor laat de zuignap op een gegeven moment los?

– Druk de zuignap op de plaat met het ruwe oppervlak.

7 Blijft de zuignap nu vastzitten? Leg uit hoe dit komt.

Proef 4 Lucht verwarmen en afkoelen 15 min

Inleiding
Bij veel weersverschijnselen speelt lucht die verwarmd wordt of afkoelt een belangrijke rol.

Doel
Bij deze proef ga je kijken wat er gebeurt, als je de lucht in een ballon en een fles verwarmt en afkoelt.

Nodig
- plastic waterfles
- ballon
- bak met warm water
- bak met ijswater
- kan met heet water

Uitvoeren en uitwerken
– Blaas de ballon een klein eindje op en knoop hem dicht.
– Leg de ballon in het warme water.

1 Wat zie je gebeuren? Hoe komt dat?

– Leg de ballon in het koude water.

2 Wat zie je gebeuren? Hoe komt dat?

– Schenk voorzichtig ongeveer 10 cm heet water in de plastic fles.
– Draai de dop op de fles en schud de fles 15 seconden flink op en neer.
– Draai de dop van de fles en giet het hete water eruit.
– Draai meteen daarna de dop weer stevig op de fles.

3 Beschrijf wat je nu ziet gebeuren. Hoe komt dat?

4 Voorspel wat er zal gebeuren als je de fles in het koude water legt.

– Controleer of je voorspelling klopt.

5 Voorspel wat er zal er gebeuren als je de fles in het warme water legt.

– Controleer of je voorspelling klopt.

Proef 5 Convectiestroming in lucht 15 min

Inleiding
Als je lucht op één plaats verwarmt, zal de lucht op die plaats gaan uitzetten. De warme lucht is 'lichter' dan de koude lucht eromheen en dat merk je.

Doel
Bij deze proef zie je hoe in lucht die je plaatselijk verwarmt, een convectiestroming ontstaat.

Nodig
- brander
- driepoot
- gaasje
- touwtje
- werkblad 4-2

Uitvoeren en uitwerken
– Pak werkblad 4-2 erbij. Kopieer en knip de spiraal uit. Maak het touwtje vast bij A.
– Laat de brander branden met een kleine blauwe vlam.
– Houd je hand 30 cm boven de vlam (figuur 39). Voorzichtig!

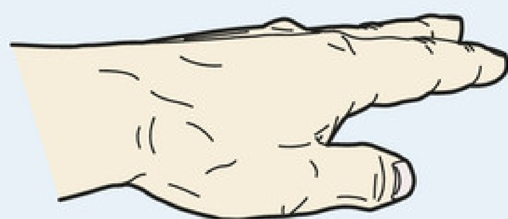
1 Wat voel je?

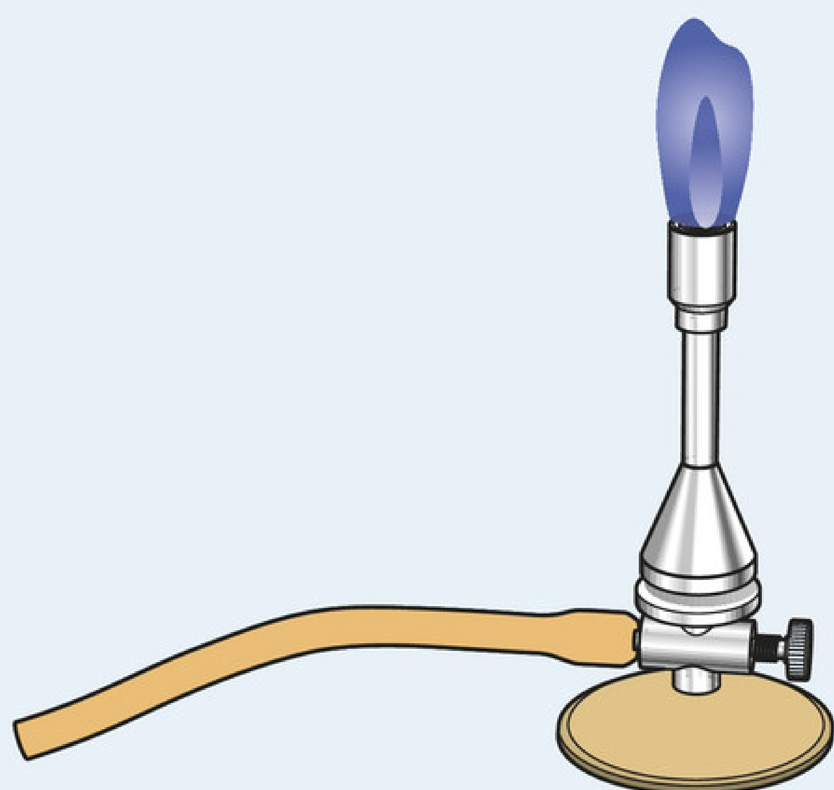
– Houd nu je hand op 30 cm afstand naast de vlam (zie figuur 39). Voorzichtig!

2 Wat voel je nu?
3 Probeer het verschil te verklaren.

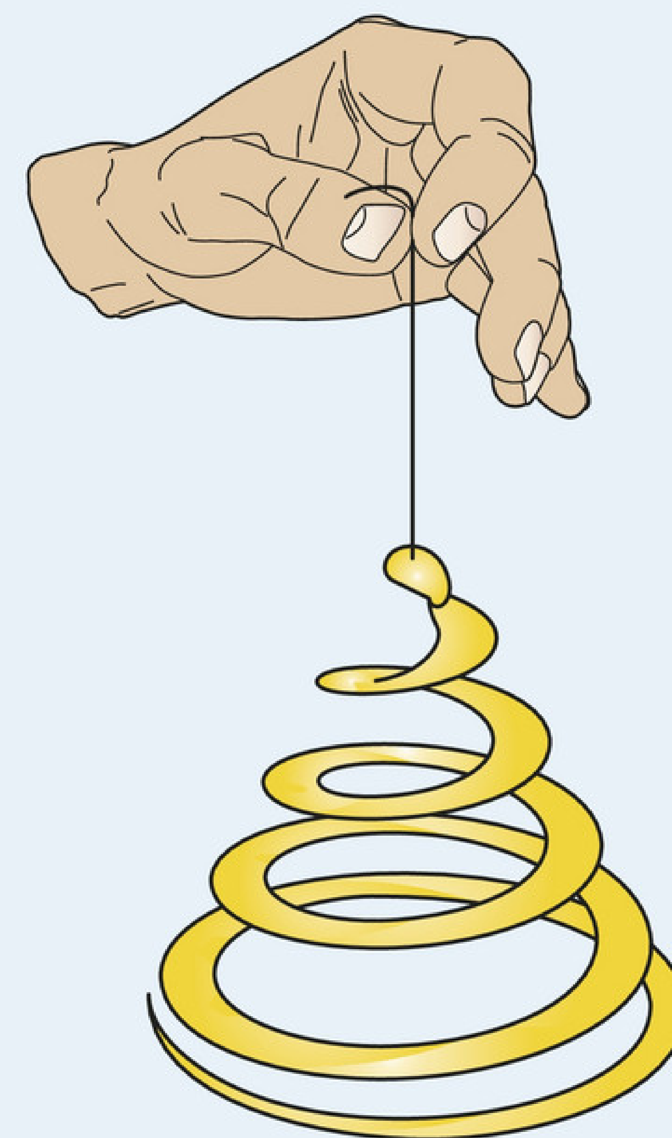
– Hang de spiraal boven de vlam (figuur 40). De afstand tussen de vlam en de onderkant van de spiraal moet minstens 30 cm zijn.

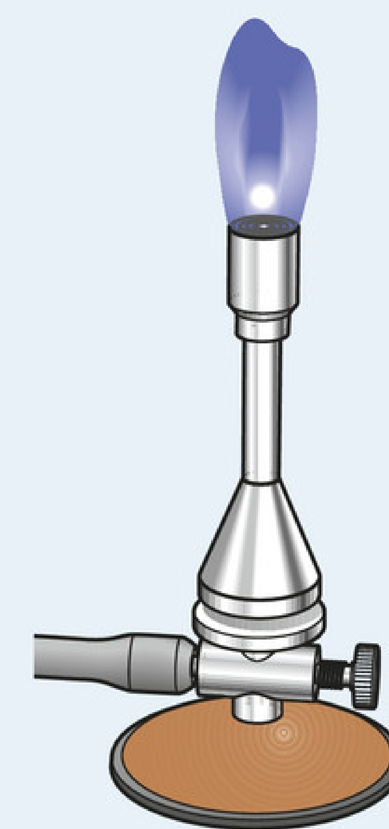
4 Wat zie je?
5 Hoe kun je dat verklaren?





▲ figuur 39
Houd bij deze proef voldoende afstand!





▲ figuur 40
Laat de spiraal boven de vlam zweven.

Proef 6 Een ontwerp maken: de windsnelheidsmeter 90 min

Inleiding
Stel je voor: jouw school gaat een weerproject doen, waarbij de leerlingen zelf gegevens verzamelen over het weer. Een van die weergegevens is de windsnelheid. Jij krijgt de opdracht om hiervoor een betrouwbare windsnelheidsmeter te ontwerpen. Nadat je wat onderzoek hebt gedaan, besluit je om niet helemaal zelf een nieuw ontwerp te maken, maar op basis van een bestaand ontwerp te werken.

Doel
Bij deze proef ga je een windsnelheidsmeter ontwerpen, bouwen en ijken. Je prototype moet aan de volgende ontwerpeisen voldoen:

Ontwerpeisen
- De windsnelheidsmeter is gemaakt van materialen die weinig of niets kosten. Op internet kun je hier ideeën voor vinden.
- De windsnelheidsmeter gaat draaien als het waait: hoe groter het aantal omwentelingen per minuut, des te groter is de windsnelheid.
- Het is eenvoudig om metingen met de windsnelheidsmeter te doen. Tip: zet de draaibeweging om in een elektrisch signaal en ga dat vervolgens meten.
- De windsnelheidsmeter zit stevig in elkaar. Je kunt er zonder problemen twee weken lang metingen mee doen, ook bij harde wind.
- De windsnelheidsmeter is geijkt: je hebt gecontroleerd dat de windsnelheid er betrouwbaar mee gemeten kan worden.

Nodig
Bij deze opdracht bedenk je zelf welke spullen je nodig hebt. Overleg indien nodig met je docent.

Uitvoeren en uitwerken
– Zoek op internet informatie over windsnelheidsmeters die je zelf kunt bouwen van goedkope of gratis materialen. Zoek niet alleen op 'windsnelheidsmeter', maar ook op 'wind speed meter' en 'anemometer' en voeg zoekwoorden toe zoals 'zelf maken' of 'home made'.
– Bedenk hoe je de opdracht kunt uitvoeren. Uit welke onderdelen bestaat jouw meter, welke spullen heb je nodig, hoe kun je de meter betrouwbaar ijken?

1 Maak een werkplan voor deze opdracht.

– De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
– Bouw de windsnelheidsmeter en ijk hem zorgvuldig.

2 Maak een testverslag met daarin:
a een duidelijke bouwtekening van de windsnelheidsmeter.
b de tests die je hebt uitgevoerd en de resultaten daarvan.
c eventuele veranderingen die je in het ontwerp hebt aangebracht.

Proef 7 Een onderzoek uitvoeren: een bekertje isoleren 30 min

Inleiding
Stel je voor: als je een plastic bekertje vult met hete chocolademelk of thee, moet je niet te lang wachten met opdrinken. Het bekertje raakt voortdurend warmte kwijt, waardoor de chocolademelk of thee steeds verder afkoelt. Je vraagt je af of er ook een eenvoudige manier is om zo'n bekertje te isoleren, zodat de inhoud veel langer heet blijft.

Doel
Je gaat onderzoeken wat de beste manier is om dit warmteverlies tegen te gaan. De onderzoeksvraag luidt:
Welke vorm van isolatie is het meest effectief om een bekertje met heet water te isoleren?
Het is de bedoeling dat elk onderzoeksgroepje één manier gaat uitproberen. Na afloop ga je de meetgegevens naast elkaar leggen en vergelijken.

Nodig
Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken
- Bedenk verschillende manieren om een plastic bekertje te isoleren: met een kartonnen deksel, met aluminiumfolie, met piepschuim, enzovoort. Spreek een spelregel af voor de hoeveelheid materiaal die je maximaal mag gebruiken.
- Ontwerp een meetopstelling waarmee je de vereiste meetgegevens kunt verzamelen. Wat ga je meten en welke practicumspullen heb je daarvoor nodig?
- Denk erover na hoe je de meetgegevens na afloop eerlijk met elkaar kunt vergelijken. Hoe kun je bepalen welke vorm van isolatie het meest effectief is?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit. Verzamel na afloop alle meetgegevens op het bord. Trek daarna gezamenlijk een conclusie.

2 Noteer alle meetresultaten in je schrift, ook die van je klasgenoten.

3 Schrijf op tot welke conclusie jullie gekomen zijn, en waarom.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.

1 Roger draait de dop van een volle fles sinas. Hij ziet dan overal in de frisdrank gasbelletjes ontstaan. Uit welk gas bestaan die belletjes?

2 Brandende olie kan geblust worden door een 'deken' van schuim over het vuur te leggen. Aan welk gas krijgt het vuur dan gebrek?

3 De schaatsbaan in Calgary ligt ongeveer 1000 m boven zeeniveau. Schaatsers moeten wennen aan het sporten op die hoogte. Anders kunnen ze vooral bij de lange afstanden in ademnood komen. Dat komt doordat …

A ze gebrek aan zuurstof krijgen.
B ze te veel stikstof inademen.
C de luchtweerstand groter is.
D ze langzamer gaan ademhalen.

4 Noteer of de volgende uitspraken waar (W) zijn of onwaar (O).

- **a** De gasvlam van een brander verbruikt niet alleen aardgas, maar ook zuurstof.
- **b** De lucht om je heen bestaat voor 78% uit zuurstof en voor 21% uit stikstof.
- **c** De drukeenheden hectopascal (hPa) en millibar (mbar) zijn precies even groot.
- **d** Op zeeniveau is de luchtdruk circa twee keer zo groot als op 5,5 km hoogte.

5 Op 16 december 2011 werd in De Bilt een luchtdruk gemeten van 970 hPa. Een luchtdruk van 970 hPa is …

A erg laag.
B iets onder het gemiddelde.
C iets boven het gemiddelde.
D erg hoog.

6 Tijdens een vliegreis drinkt Martina een flesje met water voor driekwart leeg. Ze doet de dop op de fles en stopt hem weer in haar tas. Na de landing valt het haar op dat het flesje flink in elkaar is gedrukt.

Kies de juiste mogelijkheid.
Tijdens het laatste deel van de vlucht is de druk in de cabine *kleiner geworden / gelijk gebleven / groter geworden*, terwijl de druk in het flesje *kleiner geworden / gelijk gebleven / groter geworden* is.

7 Een hoogtemeter in een vliegtuig is eigenlijk een aangepaste barometer. De schaalverdeling geeft niet de druk aan, maar de hoogte boven zeeniveau. Om de hoogte betrouwbaar weer te geven, moet de hoogtemeter afgesteld worden op de luchtdruk op zeeniveau.
Stel je voor dat de piloot per ongeluk 1002 hPa invoert voor de luchtdruk op zeeniveau, terwijl dit 1012 hPa moet zijn.

- **a** Geeft de hoogtemeter dan een te hoge of juist een te lage waarde aan voor de vlieghoogte?
- **b** Hoe groot is de fout ongeveer: 10 m, 100 m of 1000 m?

8 Met helium gevulde weerballonnen worden gebruikt om hoog in de atmosfeer weergegevens te verzamelen (figuur 41). De ballonnen zetten tijdens het stijgen zeer sterk uit, totdat ze ten slotte scheuren. De sonde die de weergegevens verzamelt en doorseint, komt daarna aan een parachute naar beneden.

- **a** Arie zegt: "Tijdens het stijgen wordt de lucht in de ballon steeds warmer. Daardoor zet de ballon steeds verder uit."
  Klopt deze bewering?
- **b** Emil zegt: "Tijdens het stijgen zet de ballon uit. Dat komt doordat de luchtdruk buiten de ballon steeds verder afneemt."
  Klopt deze bewering?



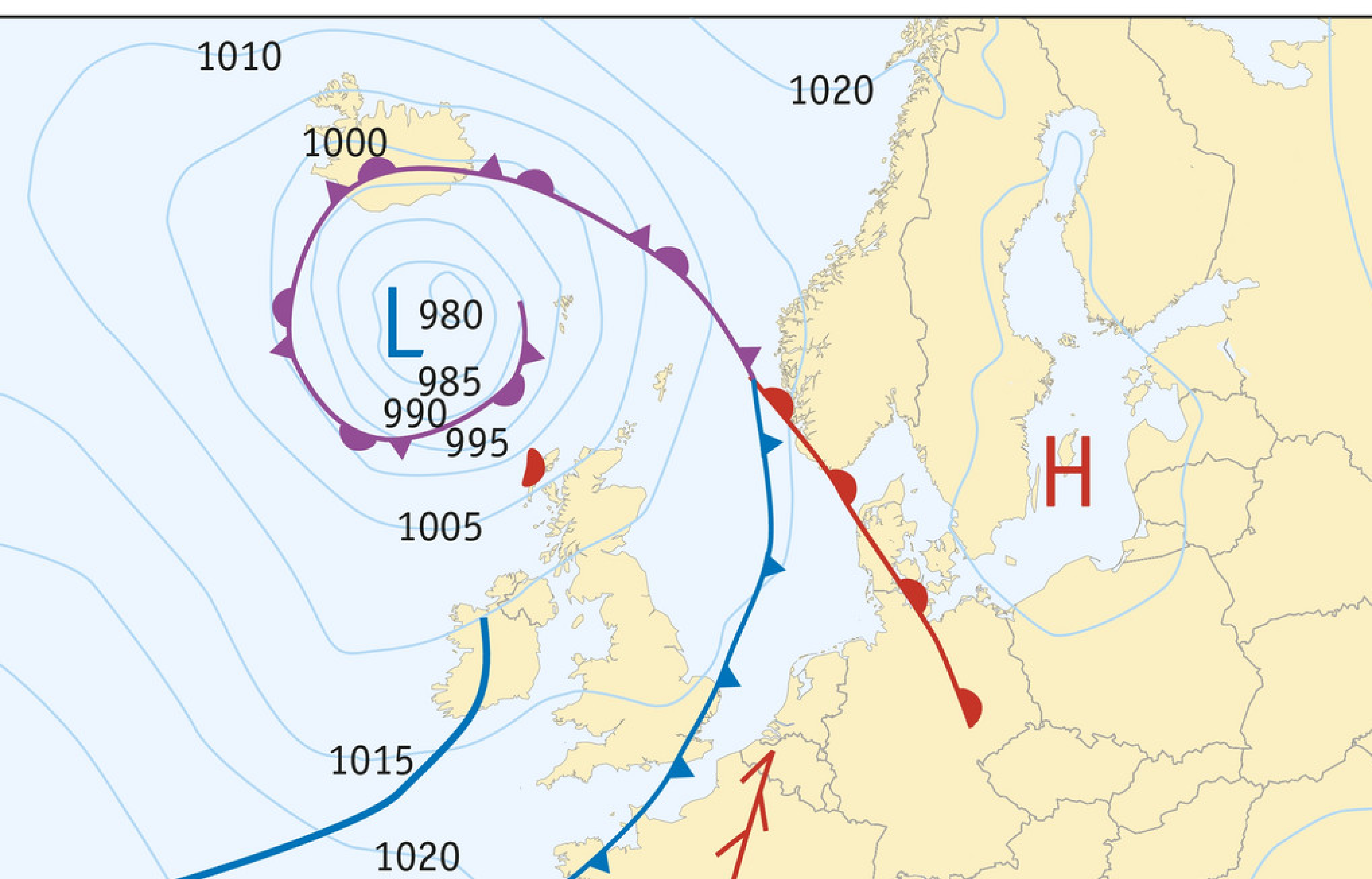
figuur 41 een weerballon bij de start

9 Kies steeds de juiste mogelijkheid.

- **a** De druk van de lucht in je longen is gemiddeld *groter dan / even groot als / kleiner dan* de atmosferische druk.
- **b** Om in te ademen, maak je het volume van je longen *groter / kleiner*. De druk van de lucht in je longen wordt dan iets *groter / kleiner* dan de atmosferische druk. Daardoor stroomt er lucht je longen *in / uit*.
- **c** Om uit te ademen, maak je het volume van je longen *groter / kleiner*. De druk van de lucht in je longen wordt dan iets *groter / kleiner* dan de atmosferische druk. Daardoor stroomt er lucht je longen *in / uit*.

10 In figuur 42 zie je een fragment van de KNMI-weerkaart voor 3 juli 2005.
Wat voor weer zal het waarschijnlijk die dag op IJsland geweest zijn?

- A harde noordelijke of noordwestelijke wind of storm; veel regen
- B harde zuidelijke of zuidwestelijke wind of storm; veel regen
- C zachte wind uit het noorden of noordwesten; geen neerslag
- D zachte wind uit het zuiden of zuidwesten; geen neerslag



▲ **figuur 42**
een fragment van een weerkaart

11 Op weerkaarten zie je lijnen met getallen staan, zoals 980 of 1020.

- **a** Hoe worden deze lijnen met getallen genoemd?
- **b** Op welke grootheid hebben deze lijnen betrekking?
- **c** In welke eenheid geeft de weerkaart deze grootheid weer?

12 Neem over en vul in.

- **a** Isolatiematerialen zoals glaswol en piepschuim danken hun isolerende werking aan de … die erin zit.
- **b** De … zit goed in het isolatiemateriaal 'opgesloten', zodat hij niet door de … weggeblazen kan worden.
- **c** Hoe dikker de laag isolatiemateriaal, des te … warmte er door het materiaal heen naar buiten verdwijnt.

13 Hoe noem je een stroming die wordt veroorzaakt door een plaatselijk temperatuurverschil?

14 Neem over en vul steeds de juiste grootheid in.
Kies uit: *de dichtheid / de massa / het volume*.
Als een bel met warme lucht uitzet, blijft … van de lucht even groot, terwijl … van de lucht toeneemt. Dat heeft tot gevolg dat … van de lucht kleiner wordt.

15 De hete gassen die uit een fabrieksschoorsteen komen, bestaan vaak voor een groot deel uit waterdamp (figuur 43).
Welke fase-overgang is er verantwoordelijk voor:

- **a** dat je vlak boven de schoorsteen een witte nevel ziet ontstaan?
- **b** dat die nevel een eindje verderop weer spoorloos verdwijnt?

▶ **figuur 43**
Een fabrieksschoorsteen stoot waterdamp uit.



16 Noteer of de volgende uitspraken waar (W) zijn of onwaar (O).

- **a** De waterdamp in lucht begint te condenseren, als de temperatuur stijgt tot boven het dauwpunt.
- **b** Hoe groter de hoeveelheid waterdamp per kubieke meter lucht, des te hoger ligt het dauwpunt.
- **c** Lucht van 30 °C kan veel minder waterdamp bevatten dan lucht van 0 °C (uitgedrukt in g/m^3).
- **d** Hoe sterker de lucht 's nachts afkoelt, des te groter is de kans dat het sterk gaat dauwen.

17 Martin heeft 100 mL water in een bekerglas gedaan. Hij verwarmt het water daarna met een brander.

- **a** Welke twee gassen ontstaan er bij de verbranding van aardgas?
- **b** Het valt Martin op dat het bekerglas vrijwel meteen beslaat.
  Welk van die twee gassen condenseert tegen het koude bekerglas?
- **c** Hoe komt het dat die condens daarna weer snel verdwijnt?

18 Een ruimtevaarder trekt een speciaal ruimtepak aan voordat ze een ruimtewandeling gaat maken (figuur 44). Zo'n ruimtepak zit vol met lucht die het lichaam van de astronaut onder druk houdt. Leg uit waarom zo'n drukpak absoluut nodig is.



▲ **figuur 44**
NASA-astronaut Sunita Williams tijdens een ruimtewandeling

19 In figuur 45 zie je een satellietfoto van de orkaan Yasi in Australië.

- **a** Waaraan kun je zien dat de orkaan is ontstaan rond een lagedrukgebied?
- **b** Waaraan kun je zien dat de foto op het zuidelijk halfrond gemaakt is?
- **c** Wat kun je zeggen over de afstand tussen de isobaren in het stormgebied?



◀ **figuur 45**
een satellietfoto van de orkaan Yasi

20 Onweersbuien ontstaan alleen als de omstandigheden in de atmosfeer daar geschikt voor zijn. In het bericht in figuur 46 kun je daar meer over lezen.

- **a** Onder welke omstandigheden is de kans op onweersbuien erg groot?
- **b** Zal een bel met warme lucht onder die omstandigheden:
  - met een grote of met een kleine snelheid omhoog bewegen?
  - al vrij snel tot stilstand komen of een grote hoogte bereiken?

Onweersbuien brengen spektakel

Een aantal hevige onweersbuien heeft gisteren overal in Nederland voor overlast gezorgd. De buien ontstonden door opvallend grote tegenstellingen tussen de temperatuur aan de grond en hoog in de atmosfeer. Op 5,5 km hoogte werden temperaturen gemeten van –22 tot –25 graden, terwijl de thermometer op ooghoogte +20 graden aanwees.



▶ **figuur 46**
een nieuwsbericht



Het weer op Mars

De lucht is vrijwel onbewolkt, licht roze, met alleen een beetje sluierbewolking. De zon staat hoog aan de hemel, maar heeft merkwaardig weinig kracht. Erg warm is het met 5 °C ook niet. De luchtdruk is vandaag 847 Pa, voor aardse begrippen extreem laag. Het stoffige en kurkdroge landschap – regenen doet het hier nooit – is totaal verlaten, op een bizar zeswielig robotvoertuig na. De datum: Sol 108. De locatie: de Gale krater op Mars.

Je hoeft niet op Mars geweest te zijn om er iets over te kunnen zeggen. Dat is te danken aan een hele serie onbemande verkenners die door de Amerikanen en de Russen naar onze buurplaneet zijn gestuurd. Vanaf 2004 reden er op Mars zelfs twee robotkarretjes rond: de rovers Spirit en Opportunity. De Spirit doet het sinds 2010 niet meer, maar de Opportunity is op dit moment (winter 2012) nog steeds actief, met meer dan 35 km op de kilometerteller.
Op 6 augustus 2012 werd het wagenpark op Mars uitgebreid met een derde rover: de zeswielige *Curiosity*. De *Curiosity* is ongeveer even groot en even zwaar als een auto uit de middenklasse. De prijs is een ander verhaal: aan het project hangt een prijskaartje van zo'n 2,5 miljard euro. Maar dan heb je ook wat: een capabel en robuust onderzoeksvoertuig, met behalve een goed toegerust laboratorium ook een eigen weerstation.

Het weerbericht voor Mars

Een van de taken van de *Curiosity* is het onderzoeken van de bewoonbaarheid van Mars. De NASA, de organisatie achter het *Curiosity*-project, wil ooit mensen op Mars zetten – en dan moet je om te beginnen wel weten wat je daar te wachten staat. De *Curiosity* gaat daarom onderzoek doen naar de omstandigheden op Mars, als voorbereiding op een bemande expeditie later in de 21e eeuw. "De wielen van *Curiosity* maken de weg vrij voor menselijke voetafdrukken in de toekomst," twitterde de hoogste NASA-baas na de landing van de *Curiosity*.
Toekomstige Marsreizigers zullen bijvoorbeeld willen weten wat voor weer ze kunnen verwachten. De *Curiosity* heeft daarom een compleet weerstation aan boord: het Rover Environmental Monitoring Station (REMS). De instrumenten van het REMS meten de luchtdruk, de luchttemperatuur, de windsnelheid, de luchtvochtigheid en de UV-stralingsintensiteit. Elke Marsdag of Sol (24 uren, 39 minuten en 35 seconden, iets langer dan een aardse dag) zet het REMS-team een weerbericht online, met de lokale weergegevens.

> "De wielen van *Curiosity* maken de weg vrij voor menselijke voetafdrukken in de toekomst."

Extreem koude nachten

Niet dat dat weerbericht nou zo aantrekkelijk klinkt. Op Mars is het bijvoorbeeld veel kouder dan

Soorten Marsverkenners

Ruimtevaartkenners verdelen de Marsverkenners in orbiters, landers en rovers.

- Landers maken een zachte landing op het Marsoppervlak en komen daarna niet meer van hun plaats. Een beroemd voorbeeld zijn de Viking landers die in de jaren 70 van de vorige eeuw onderzochten of er leven op Mars aanwezig was.

- Orbiters beschrijven een min of meer cirkelvormige baan rond de planeet (*orbit* betekent baan), net als de weersatellieten die rond de aarde draaien. Terwijl ze hun rondjes rond de planeet draaien, fotograferen ze het oppervlak of tasten het af met radar.

- Rovers zijn gerobotiseerde voertuigen die na de landing rondrijden over het Marsoppervlak, op zoek naar interessant onderzoeksmateriaal. De rover *Curiosity* heeft een robotarm, waarmee het bodemmateriaal kan opscheppen voor verder onderzoek.

op aarde, met grote temperatuurverschillen tussen dag en nacht. Op de plaats waar de *Curiosity* is geland, iets ten zuiden van de evenaar, is het overdag wel uit te houden. In de maanden na de landing was het daar lente. De middagtemperatuur lag toen rond de 0 °C, met uitschieters naar 5 of 6 °C. En 's zomers is het er ongetwijfeld nog warmer.



Maar als de zon ondergaat, daalt de temperatuur snel. Doordat de atmosfeer van Mars zo ijl is, kan de planeet de warmte moeilijk vasthouden. Daardoor wordt het 's nachts extreem koud. Het weerstation van de *Curiosity* registreerde nachtelijke temperaturen van circa –70 °C, en dat vlak bij de evenaar! Ter vergelijking: de laagste temperatuur die ooit in Nederland werd gemeten, is 'maar' –27,4 °C.

Maar al is het overdag niet ondragelijk koud, even lekker uitwaaien, desnoods in een dikke jas, zit er niet in. De atmosfeer van goed afgesloten verblijven met een atmosfeer van aardse kwaliteit. Voor uitstapjes naar buiten zullen ze een Marspak met life support systeem aan moeten trekken.

Geen vloeibaar water

Doordat de atmosfeer zo ijl is, is de luchtdruk op Mars veel lager dan op aarde. Op gemiddelde hoogte is de luchtdruk gemiddeld 7,5 mbar: dat is 0,6% van de gemiddelde luchtdruk op zeeniveau op aarde. (Op Mars heb je geen zeeën en dus ook geen zeeniveau; in plaats daarvan wordt de gemiddelde hoogte gebruikt als de 'standaardhoogte' voor luchtdrukmetingen.) De lage luchtdruk heeft tot gevolg dat vloeibaar water op Mars maar

> "Mars is dan ook droger dan de droogste woestijn op aarde..."

Mars is voor mensen onleefbaar. Dat ligt allereerst aan de samenstelling: 95% koolstofdioxide, 3% stikstof, 1,6% argon en alleen sporen van zuurstof en waterdamp. De atmosfeer is bovendien erg ijl – veel ijler dan op de hoogste bergtoppen op aarde. Mensen kunnen op Mars alleen overleven in

heel even kan bestaan. Dat komt doordat het water bij zo'n lage luchtdruk meteen begint te koken. Hetzelfde effect krijg je als je een glas water onder een glazen stolp zet en daarna de lucht wegpompt. Ook dan gaat het water 'vanzelf' koken, als de luchtdruk daalt. Het kokende water verdampt snel en is





daardoor binnen de kortste keren verdwenen.
Mars is dan ook droger dan de droogste woestijn op aarde. Zeeën, meren of rivieren zijn er niet, of in elk geval al heel lang niet meer. De bodem van Mars is kurkdroog en met een dikke laag stof bedekt. Het gebrek aan water wordt een probleem als mensen langere tijd op Mars willen wonen. Je eigen voedsel verbouwen wordt bijvoorbeeld erg moeilijk, als je al het benodigde water van de aarde moet meenemen.

Naar Mars ... voor altijd

Volgens de Britse astronoom Martin Rees is het “slechts een kwestie van tijd”, voordat er mensen op Mars rondlopen. “Het is dom om te beweren dat massa-immigratie naar de ruimte een oplossing zou zijn voor de problemen op aarde. Maar,” vertelt hij in een interview met de Britse krant *the Times*, “ik geloof, en hoop, dat sommige mensen die nu leven, in de toekomst op Mars kunnen lopen.” Misschien is Martin Rees te optimistisch. Maar misschien ook niet. Hierboven zie een artist impression van de kolonie die de Amerikaanse rakettenbouwer Elon Musk op Mars wil stichten. Hij wil Marskolonisten een enkele reis aanbieden voor een half miljoen dollar per persoon – zonder terugreismogelijkheid, want dan wordt het project te duur. Een aantrekkelijk vooruitzicht? Dankzij *Curiosity* weet je alvast één ding: voor het mooie weer hoef je het niet te doen.

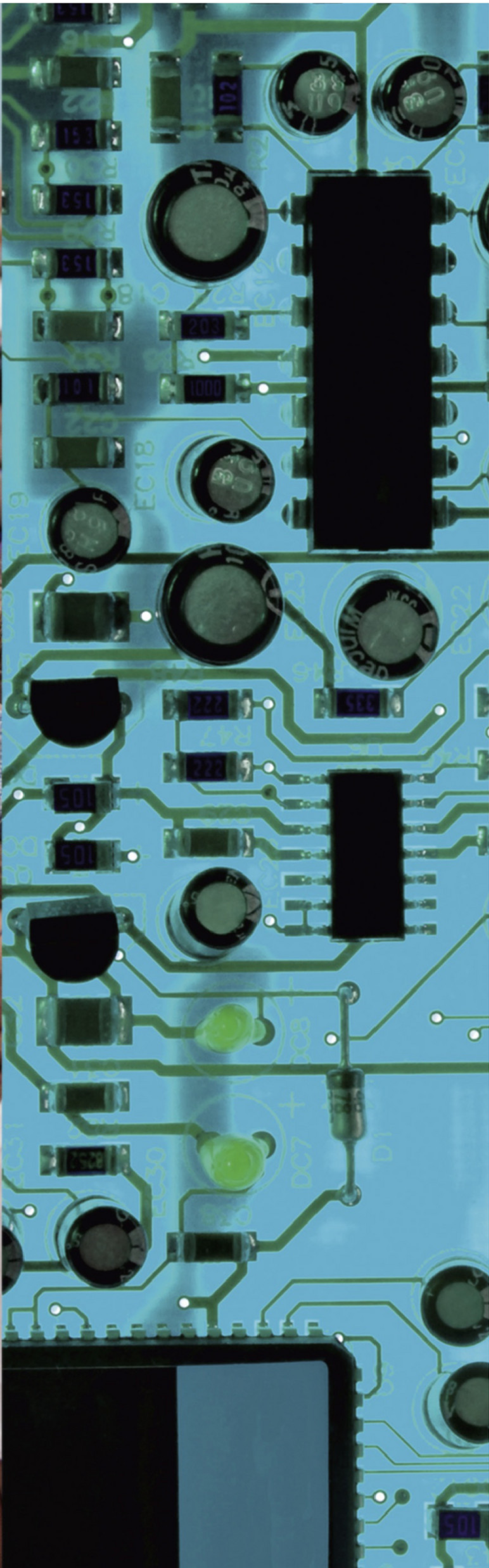
Opgaven

1 Leg uit hoe het komt:
- **a** dat er op Mars grote temperatuurverschillen bestaan tussen dag en nacht.
- **b** dat mensen in de atmosfeer van Mars onmogelijk in leven kunnen blijven.
- **c** dat er op het oppervlak van Mars nergens vloeibaar water wordt gevonden.

2 In de Gale krater, waar de *Curiosity* rondrijdt, is de gemiddelde luchtdruk iets hoger dan op ‘standaardhoogte’.
- **a** Welke definitie wordt op aarde gebruikt voor de ‘standaard-hoogte’?
- **b** Waarom moest er voor Mars een andere definitie bedacht worden?
- **c** Wat zou de verklaring zijn voor de hogere luchtdruk in de Gale krater?

***3** Zoek op internet informatie over de ijskappen van Mars.
- **a** Wat voor stof is het ‘droog ijs’ dat zich ’s winters aan de noord- en zuidpool afzet?
- **b** Waardoor is de ijskap aan de zuidpool veel groter dan de ijskap aan de noordpool?
- **c** Hoe komt het dat de luchtdruk op Mars sterk stijgt, als de zuidelijke ijskap krimpt?





5 Elektriciteit

Mobiele apparaten

Een elektrisch apparaat dat op batterijen werkt, kun je meenemen en gebruiken waar je maar wilt. Je actieradius wordt niet beperkt door de lengte van het snoer – zolang je niet vergeet om de batterijen tijdig op te laden of te verwisselen.

1 Een stroomkring maken



▲ figuur 1
een stroomkring maken

Je komt in huis allerlei apparaten tegen die op elektriciteit werken. Apparaten die veel elektrische energie nodig hebben, zoals een stofzuiger of een waterkoker, sluit je aan op het lichtnet. Andere apparaten halen de elektrische energie die ze nodig hebben, uit batterijen of accu's.

Een gesloten stroomkring

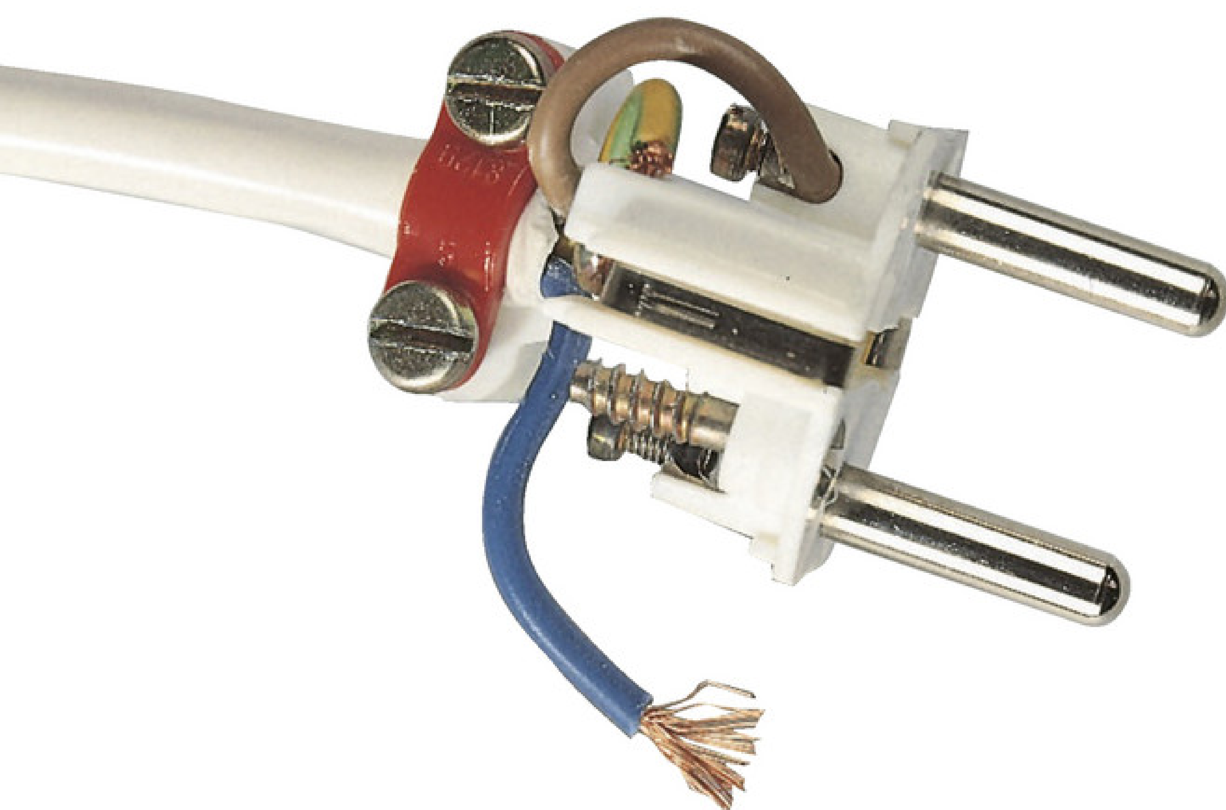
Om een lampje te laten branden, moet je er een elektrische stroom doorheen laten lopen. Dat lukt alleen als je een gesloten **stroomkring** maakt. Bijvoorbeeld van de ene kant van een batterij naar het lampje, door het lampje, en weer terug naar de andere kant van de batterij (figuur 1).

Als het lampje brandt, verbruikt het **elektrische energie**. Die energie wordt geleverd door de batterij. De elektriciteitssnoeren vervoeren de elektrische energie van de batterij naar het lampje. Op deze manier zit elke stroomkring in elkaar. Je hebt altijd te maken met:
- een **spanningsbron** die elektrische energie levert;
- verbindingen die de elektrische energie vervoeren;
- een of meer **apparaten** die de elektrische energie verbruiken.

Een batterij kan maar een beperkte hoeveelheid elektrische energie leveren. Als die energie op is, zeg je dat de batterij 'leeg' is. Een oplaadbare batterij kan opgeladen worden, zodat hij opnieuw elektrische energie kan leveren. Met een niet-oplaadbare batterij gaat dat niet. Die gooi je bij het klein chemisch afval als hij leeg is.

Isolerende en geleidende stoffen Proef 1

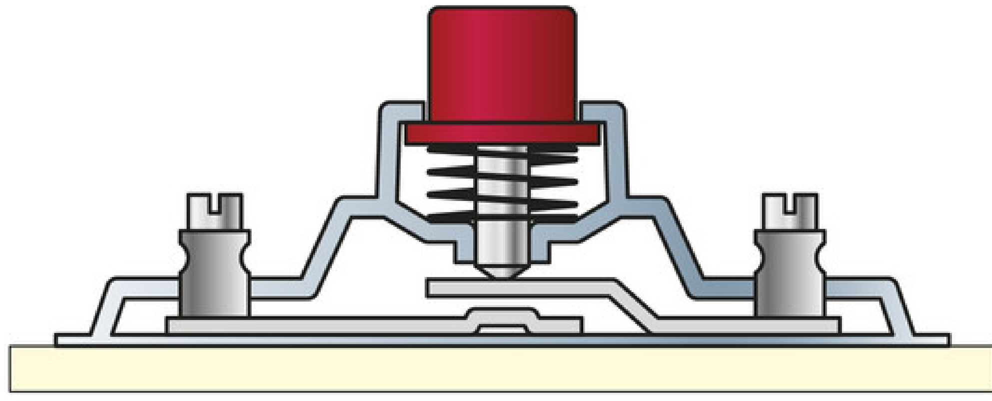
Er zijn verschillende manieren om de onderdelen van een stroomkring met elkaar te verbinden. Bij proeven met elektriciteit gebruik je daar snoeren voor. De elektrische stroom loopt door het koperdraad dat binnen in zo'n snoer zit. De buitenkant van het snoer is van plastic. Daar loopt geen elektrische stroom doorheen (figuur 2).

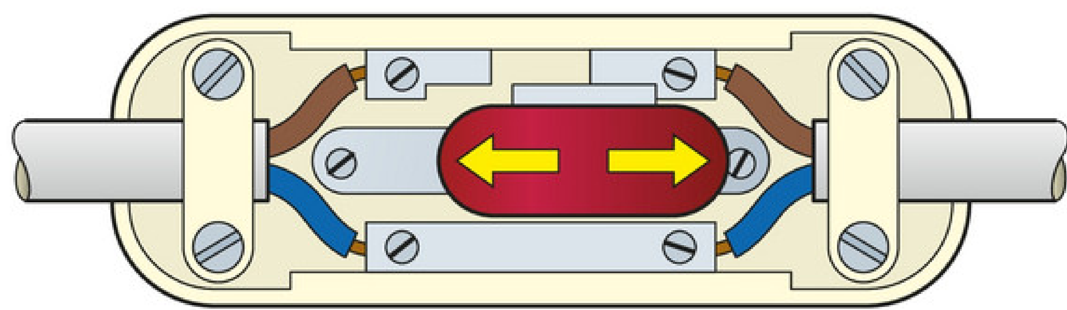


▲ figuur 2
Een stekker en een elektriciteitssnoer bestaan uit geleiders en isolatoren.

Stoffen waar een elektrische stroom gemakkelijk doorheen kan lopen, worden **geleiders** genoemd. Alle metalen zijn geleiders, maar het ene metaal geleidt beter dan het andere. Koper en aluminium geleiden bijvoorbeeld beter dan ijzer en lood. Koolstof is ook een geleider, al is het geen metaal.

Stoffen die een elektrische stroom niet of heel slecht doorlaten, noem je **isolatoren**. Voorbeelden zijn rubber, glas en de meeste soorten plastic. Als een vaste stof geen metaal is, gaat het bijna altijd om een isolator. Ook lucht is een goede isolator.





▲ **figuur 3**
twee soorten schakelaars

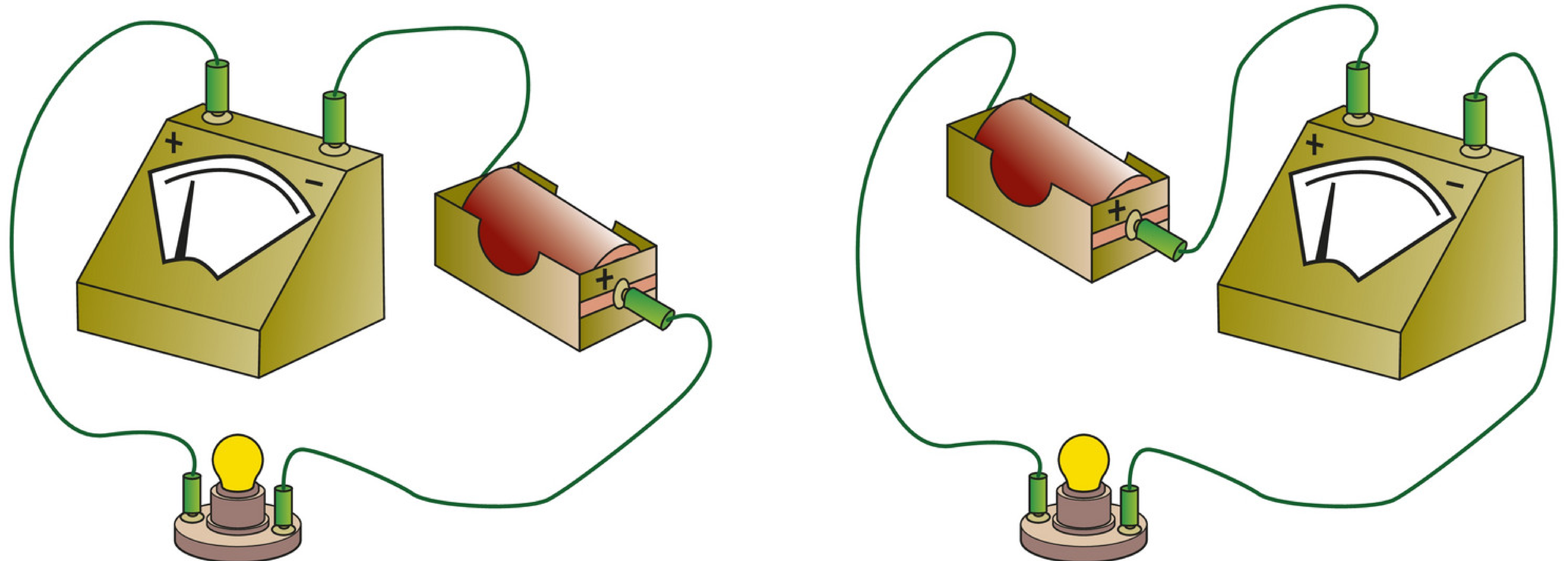
In een gesloten stroomkring loopt de stroom rond door de geleidende delen van snoeren, lampjes of andere apparaten. Met een **schakelaar** kun je de stroom in- en uitschakelen (figuur 3). Als je de stroom inschakelt, komen twee geleidende delen in de schakelaar met elkaar in contact. De stroomkring wordt zo gesloten. Als je de stroom uitschakelt, is er geen geleidende verbinding meer.

De stroom meten Proef 2

Als je een lampje op een batterij aansluit, gaat er een stroom door het lampje lopen. Zo'n elektrische stroom bestaat uit kleine deeltjes die door de geleidende materialen bewegen. Je zegt dat de stroom van 'plus naar min loopt': van de pluspool van de batterij door het lampje naar de minpool.

Met een **stroommeter** kun je meten hoe groot de stroom door een stroomkring is. De grootte van de stroom, de **stroomsterkte,** heeft als eenheid de ampère (A). Een stroommeter wordt daarom ook wel ampère-meter genoemd. Als de stroomsterkte klein is, meet je de stroom vaak in milliampère (mA).

Het maakt niet uit waar je een stroommeter in de stroomkring opneemt: links of rechts van het lampje. De stroomsterkte is namelijk op elke plaats in de stroomkring even groot (figuur 4).



▶ **figuur 4**
twee manieren om de stroomsterkte te meten



▶ figuur 5
een led in close-up

Plus De led

Een **led** is een lampje dat in allerlei soorten verlichting gebruikt wordt. Kenmerkend voor een led is dat de stroom er maar in één richting doorheen kan lopen. Als je het andersom probeert, loopt er geen stroom en geeft de led geen licht. Daarom moet je erop letten dat je een led op de juiste manier aansluit: het langste aansluitpootje moet verbonden worden met de pluskant van de batterij (figuur 5).

De naam led is een afkorting van 'licht emitterende diode'. Zo wordt het kleine elektronische onderdeel genoemd, dat het licht produceert. Als je een led hebt met een kleurloos plastic omhulsel, kun je de diode met enige moeite onderscheiden. Het plastic omhulsel beschermt de led en de aansluitdraden. De ronde bovenkant van de led helpt bovendien om het licht van de led te bundelen.

Rode leds worden veel gebruikt voor het achterlicht van fietsen, ook al zijn ze duurder dan gloeilampjes (figuur 6). Deze leds hebben als voordeel dat ze heel efficiënt omgaan met elektrische energie: voor dezelfde hoeveelheid elektrische energie geven ze je veel meer licht. De leds hebben bovendien een veel langere levensduur dan gloeilampjes en zijn ook beter bestand tegen schokken.

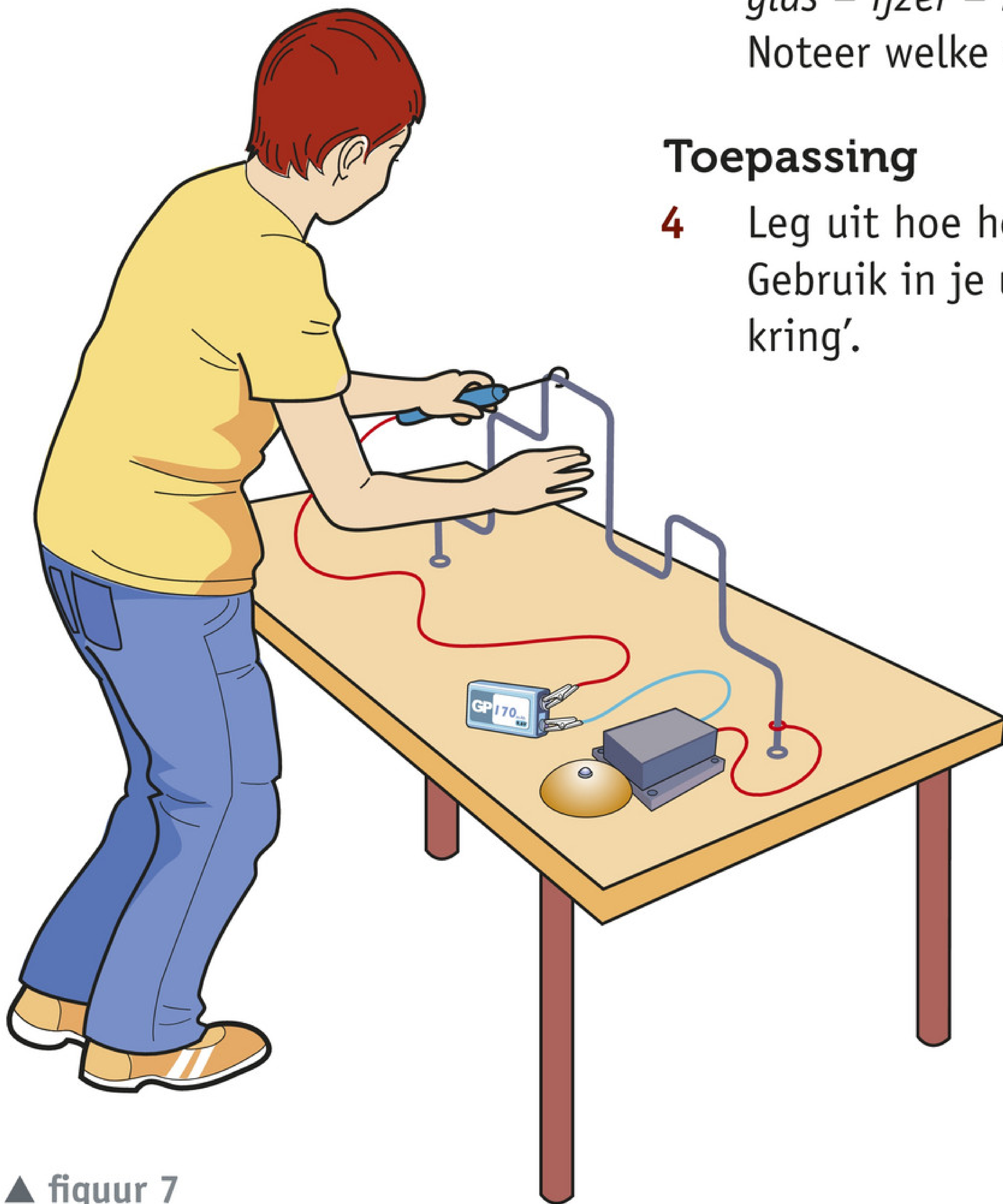


◀ figuur 6
een achterlicht voor een fiets met vijf leds

opgaven Leerstof

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Wat moet je doen om een klein (fiets)lampje te laten branden op een batterij?
- **b** Welke groep stoffen bestaat volledig uit goede geleiders van elektriciteit?
- **c** Hoe noem je stoffen die een elektrische stroom niet of heel slecht doorlaten?
- **d** Met welk onderdeel kun je de stroom in een stroomkring in- en uitschakelen?

2 Neem over en vul in.
- **a** Een elektrische stroom bestaat uit kleine … die door … materialen bewegen.
- **b** Met een … kun je meten hoe groot de stroomsterkte in een stroomkring is.
- **c** De grootte van de stroom wordt gemeten in …, afgekort met de letter …



▲ figuur 7
Als je hand trilt, gaat de bel rinkelen.

3 Hieronder staan zeven stoffen.
glas – ijzer – koolstof – koper – lucht – plastic – rubber
Noteer welke van deze stoffen geleiders zijn.

Toepassing

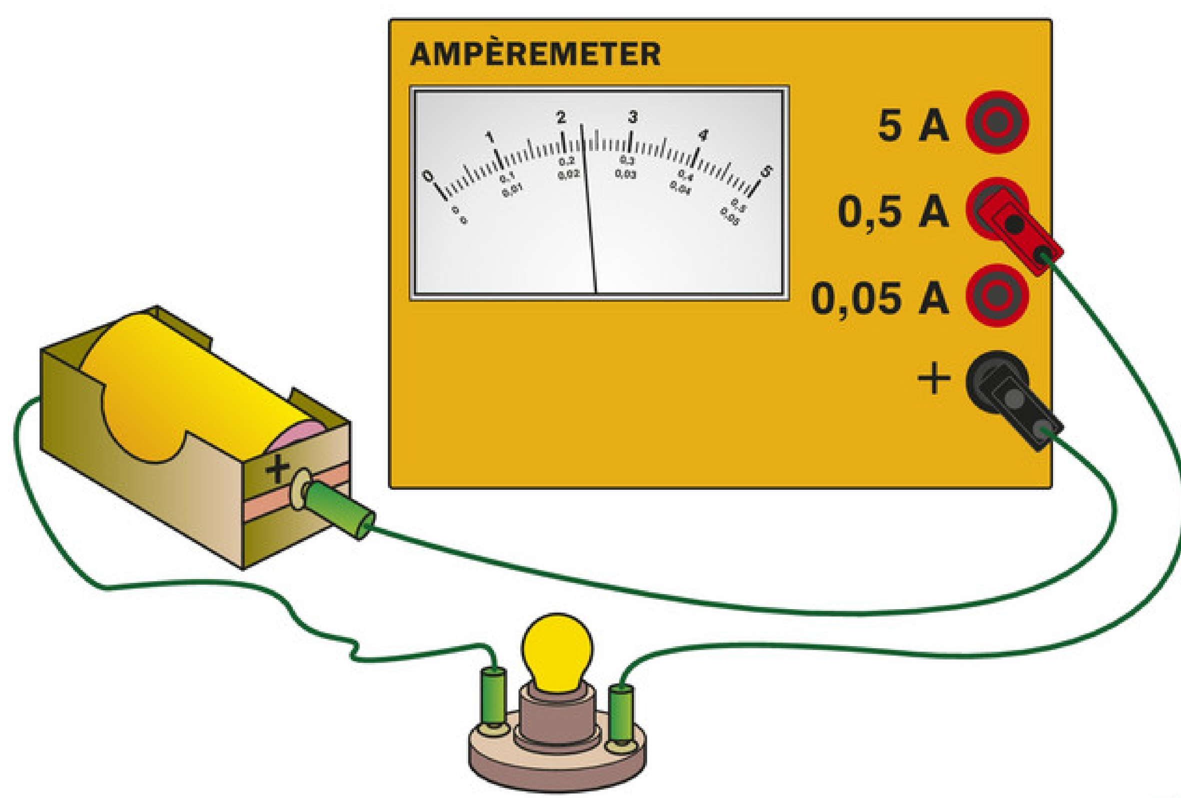
4 Leg uit hoe het spelletje van figuur 7 werkt.
Gebruik in je uitleg de woorden 'open stroomkring' en 'gesloten stroomkring'.

5 In figuur 8 zie je drie foto's van een stroommeter. In vaardigheid 8 leer je hoe je een stroommeter afleest.
Lees de stroomsterktes af die de meters aangeven en schrijf ze op.

Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.



▲ figuur 8
Welke stroomsterkte geven de drie stroommeters aan?



▲ **figuur 9**
de opstelling van Romy

6 Romy meet de stroomsterkte tussen de pluspool van een batterij en een lampje (figuur 9).

a Hoe groot is de stroomsterkte die de stroommeter aangeeft?

b Daarna meet Romy de stroomsterkte tussen het lampje en de minpool van de batterij.
Wat kun je zeggen over de stroomsterkte die ze dan meet?
A Die is groter dan ze zopas bij a heeft gemeten.
B Die is even groot als ze zopas bij a heeft gemeten.
C Die is kleiner dan ze zopas bij a heeft gemeten.

7 Neem over en vul in.

a 37 mA = … A
b 452 mA = … A
c 0,250 A = … mA
d 0,032 A = … mA
e 3 mA = … A
f 950 mA = … A
g 0,072 A = … mA
h 0,008 A = … mA
i 82 mA = … A
j 0,125 A = … mA

Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.

8 Als je een lichtschakelaar op UIT zet, wordt een stroomkring verbroken. Tussen de geleidende delen van de schakelaar zit lucht.
Leg uit hoe je hieruit kunt concluderen of lucht een geleider of een isolator is.

9 Lars wil uitzoeken of kraanwater elektriciteit geleidt.
Leg uit hoe hij dat met een proefje kan onderzoeken. Maak een tekening van de proefopstelling.

10 Op een website vindt Floor een artikel over hoe je zelf een eenvoudige deurbeveiliging kunt maken. Zie figuur 10 voor de handleiding.
Leg uit hoe de schakeling werkt.

***11** In figuur 11 zie je een schakeling met een lampje, een batterij en een schakelaar. De schakelaar is gesloten.
Leg uit hoe het komt dat het lampje niet brandt.

▼ **figuur 10**
een inbraakalarm om zelf te maken

HOUD DE DIEF

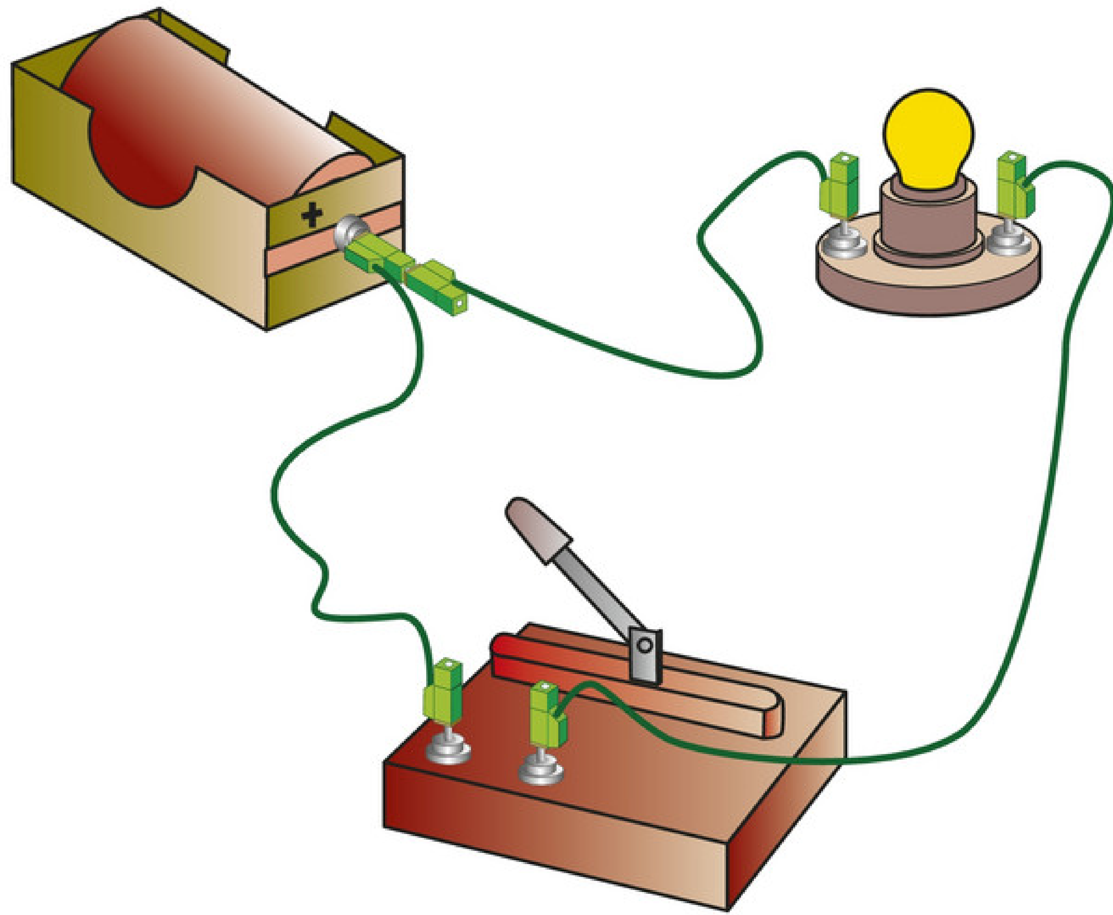
MAAK JE EIGEN INBRAAKALARM

Rekenmachine gejat? Agenda kwijt? En je krijgt de dief maar niet te pakken?
Dan wordt het hoog tijd voor actie!

1 2 3

↑naar de deur

1. Neem een zoemer en maak de uiteinden van de draad vrij van isolatie.
2. Wind om de twee kanten van een wasknijper niet-geisoleerd elektriciteitsdraad.
3. Maak hiermee de schakeling en stop een stuk karton tussen de kanten van de wasknijper. Maak het karton met touw vast aan de deur.



▲ **figuur 11**
Waarom brandt het lampje niet?

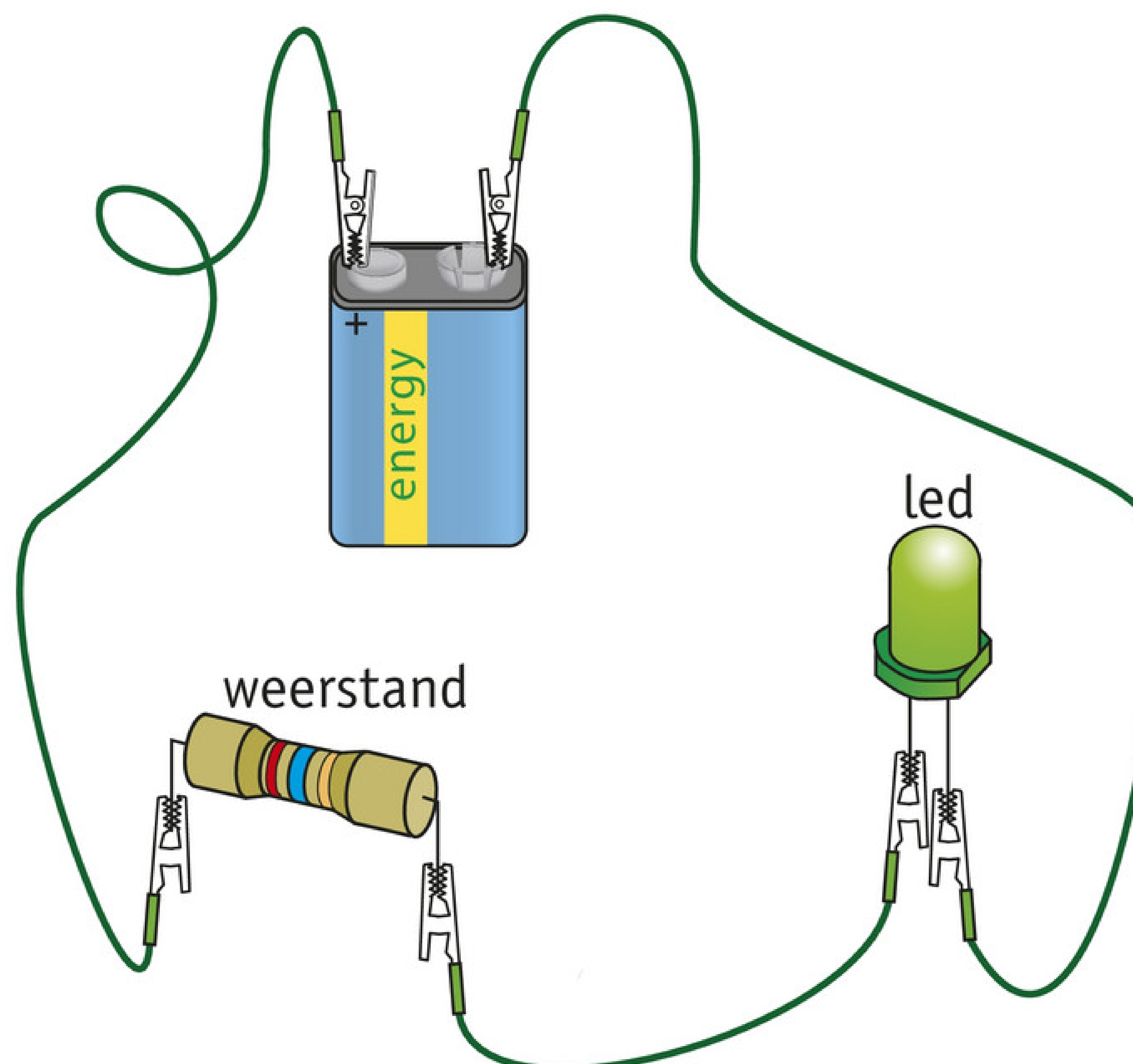
Plus De led

12 Ilse heeft een led aangesloten op een batterij (figuur 12). De led geeft geen licht. Ilse weet zeker dat de batterij en de led niet stuk zijn en dat de draden goed vastzitten.

a Wat zal er waarschijnlijk mis zijn?

b Ilse maakt daarna een stroomkring met twee leds. Als ze de batterij aansluit, brandt de ene led. Als ze de batterij andersom aansluit, brandt de andere led.
Teken de schakeling die Ilse gemaakt heeft.

***13** Bernard heeft een zaklantaarn met ledlampjes gekocht. De zaklantaarn geeft ongeveer evenveel licht als een ouderwetse zaklamp met een gloeilampje, en is duurder in aanschaf. Toch is Bernard met zijn moderne zaklantaarn uiteindelijk wel goedkoper uit.
Leg uit hoe dat kan.



▶ **figuur 12**
de schakeling van Ilse

2 Spanningsbronnen

Om een stroomkring te maken, heb je een spanningsbron nodig die de benodigde elektrische energie levert. Veelgebruikte spanningsbronnen zijn batterijen, accu's en dynamo's. De panelen met zonnecellen die je vaak op daken ziet, zijn ook spanningsbronnen.

Spanning

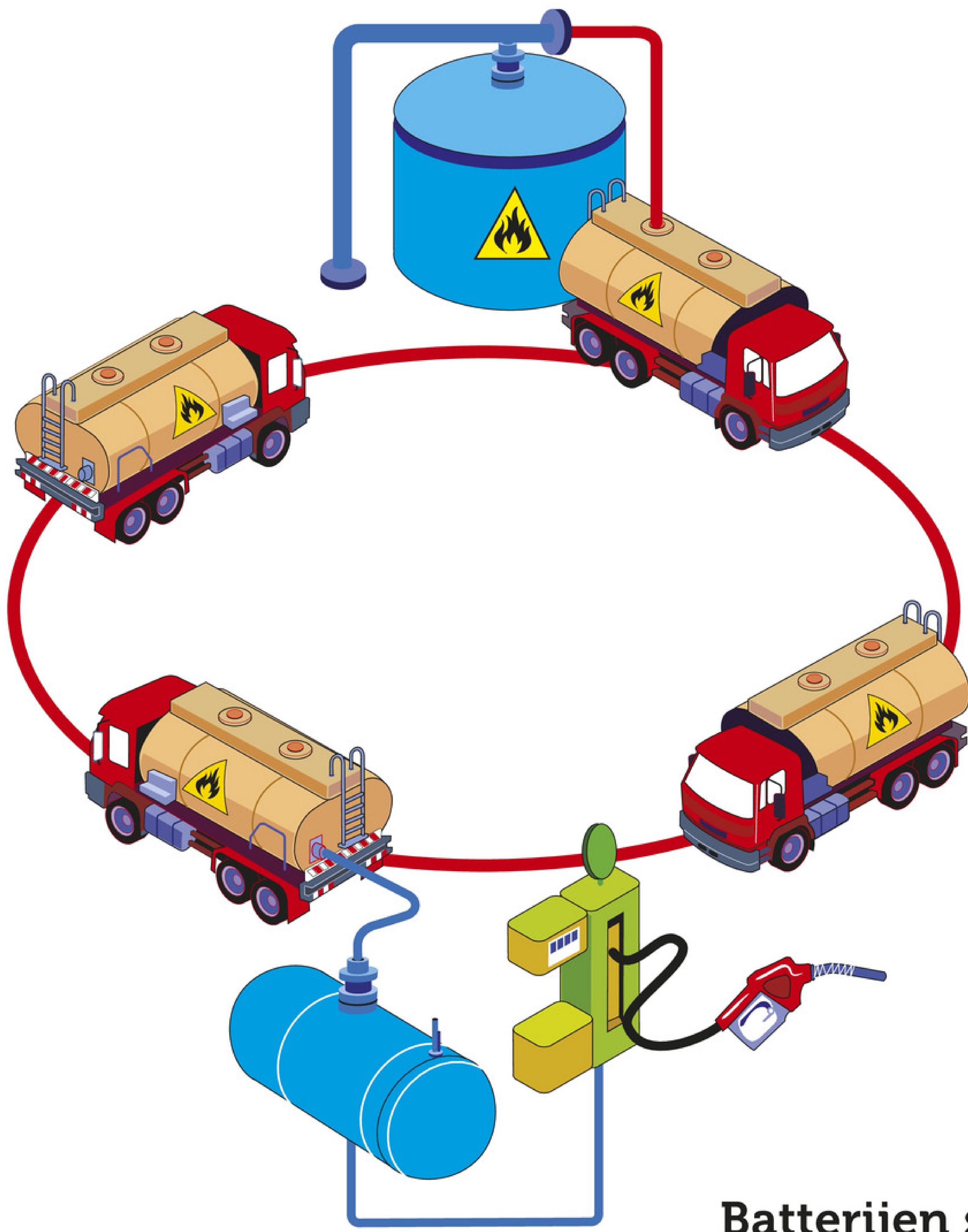
Op een batterij staat altijd vermeld welke **spanning** hij levert (figuur 13). Je kunt de vermelde spanning controleren met een **spanningsmeter**. Je meet dan de spanning tussen de pluspool en de minpool van de batterij. De eenheid van spanning is de volt (V). Een spanningsmeter wordt daarom ook wel een voltmeter genoemd.



▶ **figuur 13**
Enkele soorten batterijen en accu's; elk type spanningsbron heeft zijn eigen spanning.

De spanning en de stroomsterkte hebben te maken met de manier waarop een elektrische stroom energie vervoert. Zo'n stroom bestaat uit kleine deeltjes die door een geleidende stof bewegen. De stroomsterkte vertelt je hoeveel van die deeltjes er per seconde voorbijkomen. De spanning vertelt je hoeveel elektrische energie elk deeltje met zich meeneemt.

Hoe groter de stroomsterkte en de spanning, des te meer energie er per seconde wordt vervoerd. Je kunt een elektrische stroom wat dat betreft vergelijken met tankauto's die benzine vervoeren (figuur 14). De 'stroomsterkte' is het aantal tankauto's dat per uur langsrijdt. De 'spanning' is de hoeveelheid benzine die in elke tankauto zit. Hoe groter de 'stroomsterkte' en de 'spanning', des te meer benzine er per uur wordt vervoerd.



◀ **figuur 14**
Je kunt het vervoer van elektrische energie vergelijken met het vervoer van benzine.

Als je de stroom uitschakelt, is de spanning nog niet verdwenen. De deeltjes zijn er nog en ze hebben nog steeds evenveel energie. In het benzinevoorbeeld: de tankauto's zijn er nog steeds en er zit nog steeds benzine in. Ze bewegen alleen niet meer en dat betekent dat de verbruiker geen energie meer krijgt aangevoerd. Pas als er weer stroom loopt, komt het vervoer van energie weer op gang.

Batterijen schakelen

Vaak heb je meer dan één batterij nodig om aan de juiste spanning te komen. Voor de afstandsbediening in figuur 15 heb je bijvoorbeeld twee staafbatterijen van 1,5 V nodig. Je moet die batterijen in serie schakelen. Dat wil zeggen dat je de pluspool van de ene batterij verbindt met de minpool van de andere batterij. Ze geven dan samen een spanning van 3,0 V.

Als je vier batterijen van 1,5 V in serie schakelt, dus steeds met de pluspool van de een tegen de minpool van de andere, geven ze samen een spanning van 6,0 V. In zijn algemeenheid geldt:

Als je batterijen in serie schakelt, mag je hun spanningen bij elkaar optellen.

Als je een van de vier batterijen per ongeluk verkeerd om legt, werkt hij tegen de andere batterijen in. De totale spanning wordt dan 1,5 + 1,5 + 1,5 − 1,5 = 3,0 V.

▶ **figuur 15**
In deze afstandsbediening gaan twee batterijen van 1,5 V.



Veilige en onveilige spanningen

Op stopcontacten staat de **netspanning**: die is in Nederland 230 V. Een spanning van deze grootte levert een duidelijk risico op. Als je een geleider aanraakt waar 230 V op staat, krijg je op zijn minst een onplezierige schok. Onder ongunstige omstandigheden kan zelfs je leven gevaar lopen. Daarom moeten apparaten die op 230 V werken, goed geïsoleerd zijn. Dan kun je geen onderdelen aanraken waar spanning op staat.



▲ **figuur 16**
een adapter voor een mobieltje

De spanning die een batterij levert, is veel lager dan 230 V. Zo'n lage spanning is niet gevaarlijk. Als je de polen van een batterij aanraakt, voel je zelfs helemaal niets! Als veilige grens wordt vaak 24 V genomen. Apparaten die op batterijen werken, blijven daar ruim onder. Je hoeft daarom niet bang te zijn dat een mobiele telefoon of een snoerloze boormachine je een schok geeft.

Veel apparaten werken op een lagere spanning dan 230 V. Om ze toch op het stopcontact te kunnen aansluiten, heb je een **transformator** nodig. Dit apparaat zet de netspanning om in een lage spanning. In de adapter waarmee je een mobiele telefoon oplaadt, zit een transformator die de netspanning van 230 V omzet in een spanning van 5 V (figuur 16).

Plus Chemische spanningsbronnen



▲ **figuur 17**
Batterijen horen bij het klein chemisch afval.

Batterijen en accu's noem je chemische spanningsbronnen, omdat de spanning wordt opgewekt met behulp van **chemische reacties**. Bij die reacties worden de oorspronkelijke stoffen verbruikt. Daarvoor in de plaats ontstaan nieuwe stoffen. Als de oorspronkelijke stoffen op zijn, levert de batterij of accu geen spanning meer: hij is 'leeg'.

Bij oplaadbare batterijen kun je de reacties ook in de omgekeerde richting laten verlopen. Dat gebeurt als je de batterij weer oplaadt. De stoffen die eerder in de batterij ontstonden, verdwijnen dan weer. Daarvoor in de plaats krijg je de oorspronkelijke stoffen weer terug. Bij niet-oplaadbare batterijen gaat dat niet. Die gooi je weg als ze 'leeg' zijn (figuur 17).

Vroeger zat er vaak kwik of cadmium in batterijen. Deze stoffen zijn erg giftig en mogen daarom niet meer in batterijen voorkomen. Toch bevatten batterijen nog steeds stoffen die schadelijk voor het milieu zijn. Daarom horen lege batterijen bij het klein chemisch afval (KCA). Dat geldt zowel voor oplaadbare als niet-oplaadbare batterijen. Oplaadbare batterijen zijn wel minder slecht voor het milieu, omdat ze veel langer meegaan.

opgaven

Leerstof

14 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welke vier soorten spanningsbronnen worden in deze paragraaf genoemd?
- **b** Hoe kun je de spanning uitrekenen van vier in serie geschakelde batterijen?
- **c** Waarom moeten apparaten die op 230 V werken, goed geïsoleerd worden?
- **d** Met welk apparaat kun je de netspanning omzetten in een lage spanning?

15 Een elektrische stroom bestaat uit kleine deeltjes die door een geleider bewegen.
- **a** Welke grootheid geeft aan hoeveel deeltjes er per seconde voorbijkomen?
- **b** Welke grootheid geeft aan hoeveel elektrische energie elk deeltje meeneemt?

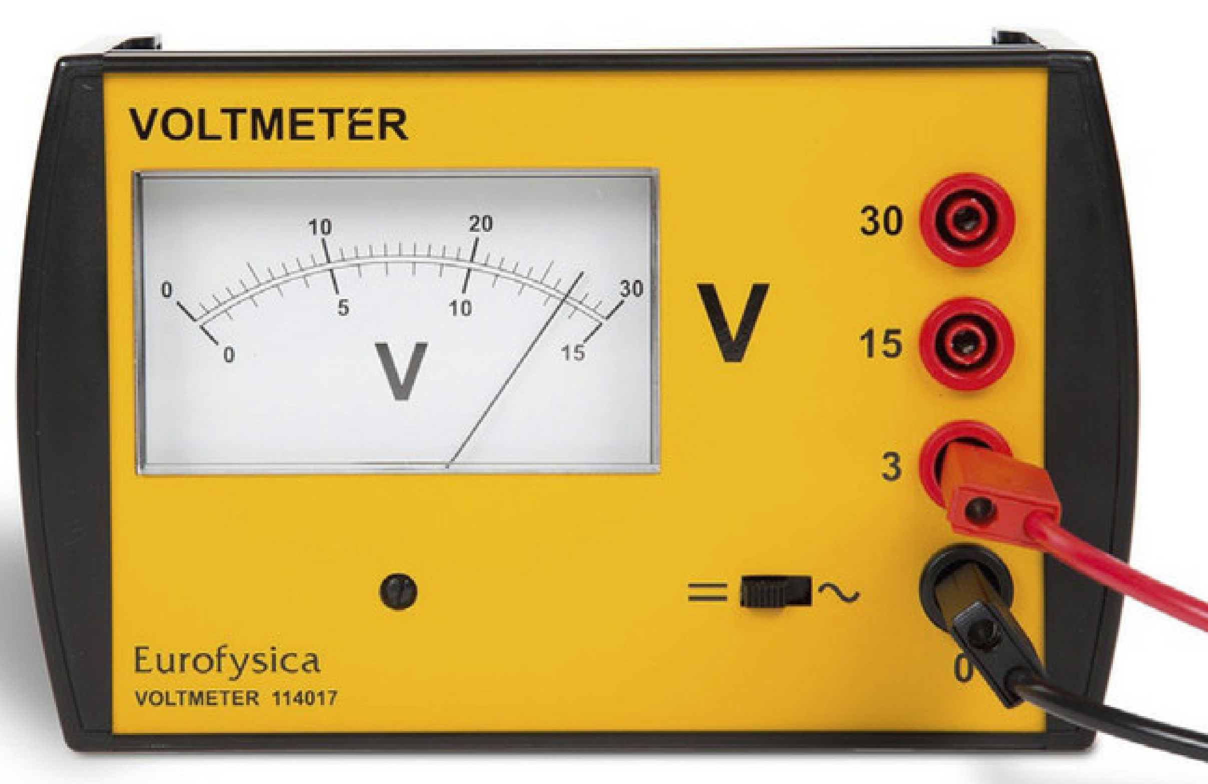
16 Neem over en vul in.
- **a** Met een … kun je meten hoeveel spanning een spanningsbron levert.
- **b** De grootte van de spanning wordt gemeten in …, afgekort met de letter …
- **c** In Nederland is de … (de spanning die op de stopcontacten staat) 230 V.
- **d** Een bruikbare vuistregel is dat spanningen tot … V geen risico opleveren.

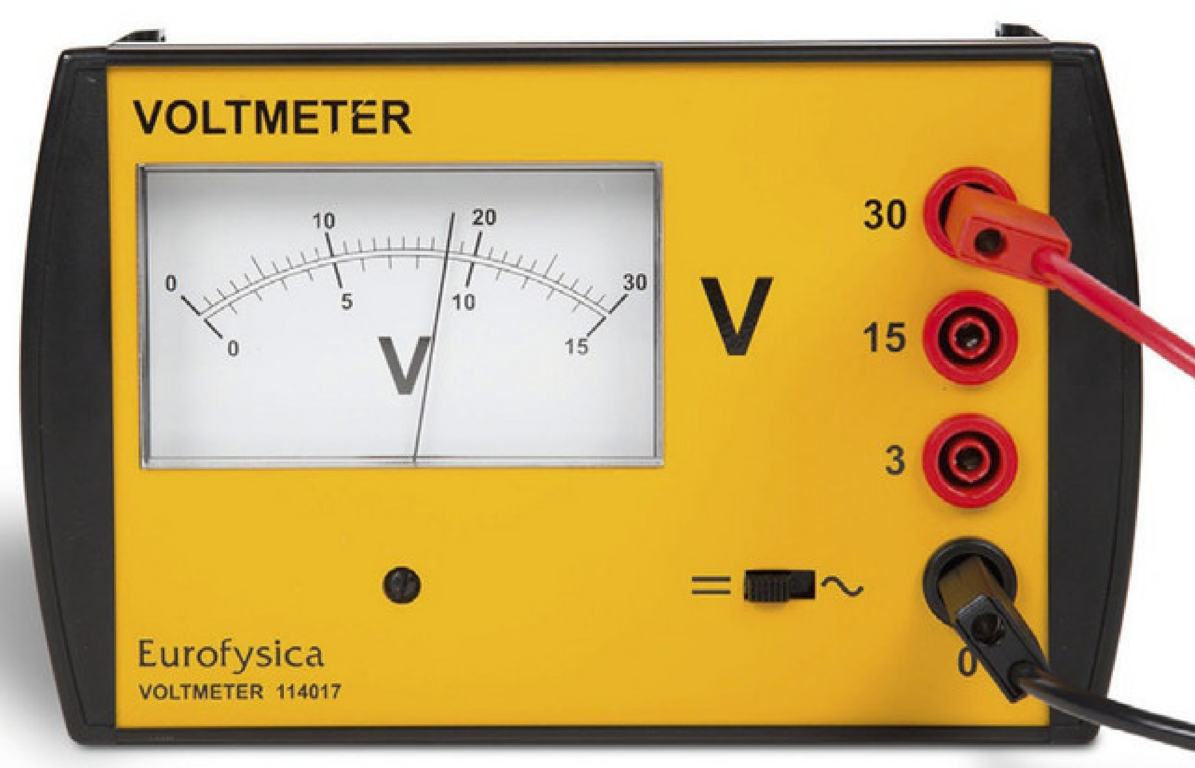
Toepassing

17 Op batterijen staat altijd vermeld hoe groot de geleverde spanning is. Waarom staat de geleverde spanning niet vermeld op een dynamo?

18 In figuur 18 zie je drie foto's van een spanningsmeter. In vaardigheid 7 leer je hoe je een spanningsmeter afleest.
Lees de spanningen af die de meters aangeven, en schrijf ze op.

Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.



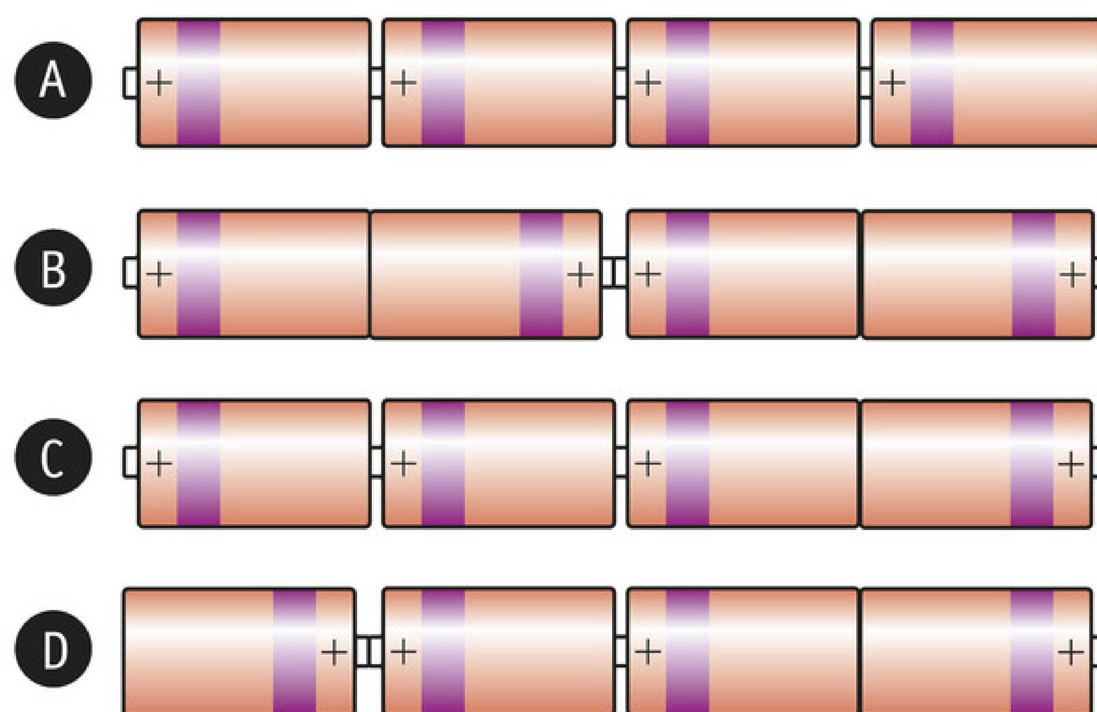




▲ **figuur 18**
Welke spanning geven de drie spanningsmeters aan?

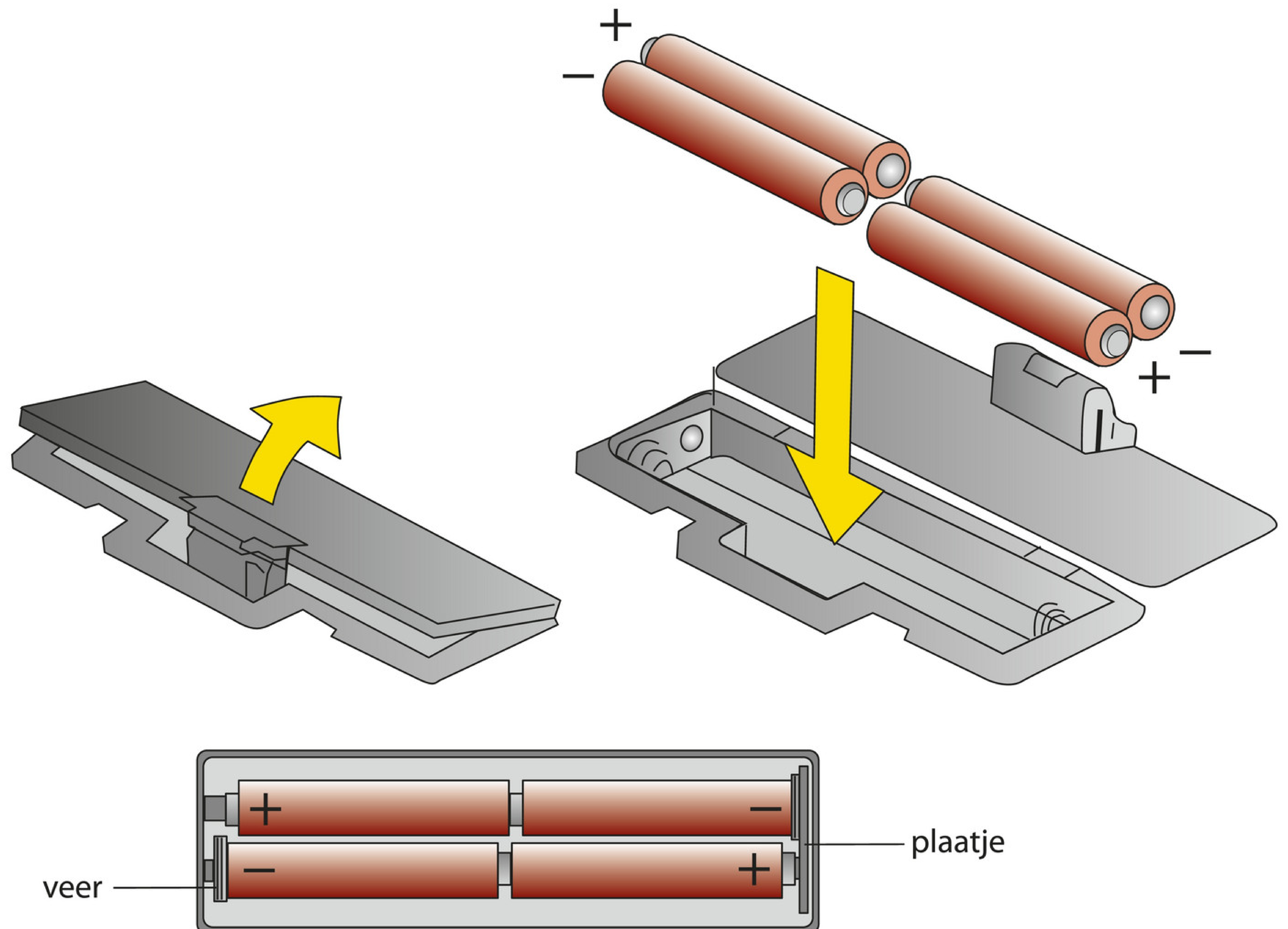
19 Voor deze opgave heb je werkblad 5-1 nodig.
- **a** Teken bij a hoe je de spanningsmeter moet aansluiten om 1,2 V te meten.
- **b** Teken bij b hoe je de spanningsmeter moet aansluiten om 2,4 V te meten.
- **c** Teken bij c hoe je de spanningsmeter moet aansluiten om 3,6 V te meten.

20 In figuur 19 worden batterijen van 1,5 V op verschillende manieren gecombineerd.
Welke spanning levert de combinatie van batterijen:
- **a** in figuur 19a?
- **b** in figuur 19b?
- **c** in figuur 19c?
- **d** in figuur 19d?



▲ **figuur 19**
vier combinaties van batterijen

21 In figuur 20 zie je een plaatje uit de handleiding van een personenweegschaal. De weegschaal werkt op vier AA batterijen van 1,5 V.
- **a** Waarom is het plaatje rechts van een geleidend materiaal gemaakt?
- **b** Is de veer links ook van een geleidend materiaal gemaakt? Leg uit.
- **c** Hoe zijn de batterijen geschakeld, als je ze goed in het vakje doet?
- **d** Hoe groot is de spanning die de vier batterijen dan samen leveren?



▶ **figuur 20**
Zo moeten de batterijen in de weegschaal gedaan worden.

***22** Een Taser is een stroomstootwapen dat in veel landen door de politie wordt gebruikt. Als het wapen afgaat, worden er twee pijltjes aan een stroomdraad weggeschoten (figuur 21). Als die pijltjes iemand raken, krijgt die persoon een heel korte stroomstoot toegediend. De stroomstoot is erg pijnlijk en stelt de getroffen persoon tijdelijk buiten gevecht.

a Leg uit waarom een Taser twee pijltjes afschiet, en niet één.

b De spanning op de pijltjes is erg hoog: circa 50 000 V. Toch is een treffer van een Taser bijna nooit dodelijk.
Leg uit hoe dat mogelijk is.



▶ **figuur 21**
Zo werkt een Taser.

***23** Zoek op internet informatie over kattenschrikdraad.

a Hoe hoog is de maximale spanning die een schrikdraadgenerator produceert?

b Waarom geeft zo'n generator geen constante spanning af, maar korte pulsen?

c Wat voelt een kat als het beest even met de schrikdraden in aanraking komt?

d Maak een duidelijke tekening van de stroomkring die op dat moment ontstaat.

Plus Chemische spanningsbronnen

24 Soms wordt gezegd: "Deze batterij is leeg." Maar een lege batterij weegt evenveel als een volle.
Wat wordt er dan bedoeld met 'vol' en 'leeg' als het over batterijen gaat?

25 Oplaadbare batterijen zijn duurder dan niet-oplaadbare batterijen.
Leg uit:

a waarom oplaadbare batterijen toch beter zijn voor je portemonnee.

b waarom oplaadbare batterijen ook minder slecht zijn voor het milieu.

c waarom het terecht is dat er bij b 'minder slecht' staat en niet 'beter'.

26 Zoek op internet informatie over auto-accu's.

a Hoe groot is de spanning die een auto-accu levert?

b Op welke manier wordt een auto-accu opgeladen?

c Welke schadelijke stoffen zitten er in een auto-accu?

d Wat zijn de gevaren: voor het milieu en voor jezelf?

e Waar laat je een auto-accu als die oud en versleten is?

3 Schakelingen

Je kunt lampen, schakelaars, snoeren en spanningsbronnen op verschillende manieren met elkaar verbinden. Anders gezegd: je kunt er verschillende schakelingen mee maken. In zo'n schakeling kun je altijd één of meer stroomkringen aanwijzen.

Schakelingen tekenen Proef 3 en 4

Als je iemand wilt uitleggen hoe een bepaalde schakeling in elkaar zit, kun je het best een tekening gebruiken. Er zijn speciale symbolen bedacht om overzichtelijke tekeningen van schakelingen te kunnen maken. Zo'n tekening noem je een **schakelschema** (zie figuur 22).

Schakelschema's zijn onmisbaar bij proeven met elektriciteit. Het schema vertelt je welke onderdelen je nodig hebt en hoe je die met elkaar verbindt. Bij veel proeven staat er een schakelschema in het boek. Soms moet je zelf een schakelschema tekenen. Nadat je alle onderdelen hebt verzameld, bouw je de schakeling aan de hand van het schema.

Schakelschema's worden ook gebruikt bij het ontwikkelen van elektrische en elektronische apparaten. Eerst maakt het ontwerpteam een schakelschema waarop alle onderdelen en hun verbindingen schematisch zijn weergegeven. Als dat schema is goedgekeurd, bedenkt het team hoe de schakeling het best (en het goedkoopst) in elkaar gezet kan worden.

Serieschakelingen Proef 5 en 6

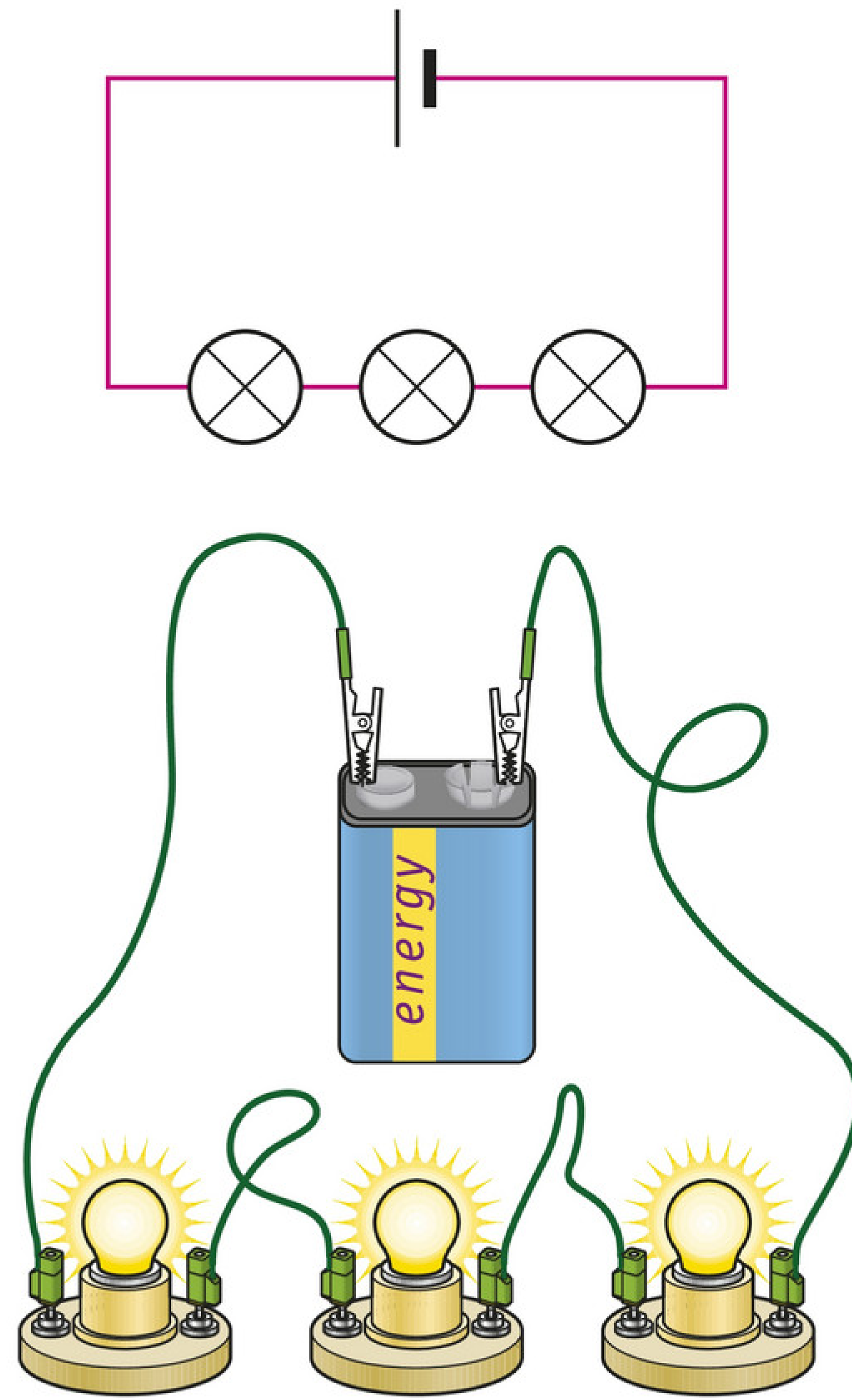
In figuur 23 zie je een **serieschakeling** met drie lampjes. Een serieschakeling heeft geen vertakkingen: er is maar één stroomkring. Als er één lampje stukgaat, is de stroomkring verbroken: alle lampjes gaan dan uit. Het is daarom niet praktisch om lampen in serie te schakelen. Je wilt dat de andere lampen blijven werken, als er één lamp kapotgaat.

Je schakelt een schakelaar juist wel in serie met het apparaat dat aan- of uitgezet moet worden. Als je de schakelaar op UIT zet, open je de stroomkring en gaat het apparaat uit. Als je de schakelaar op AAN zet, sluit je de stroomkring en gaat het apparaat weer aan.

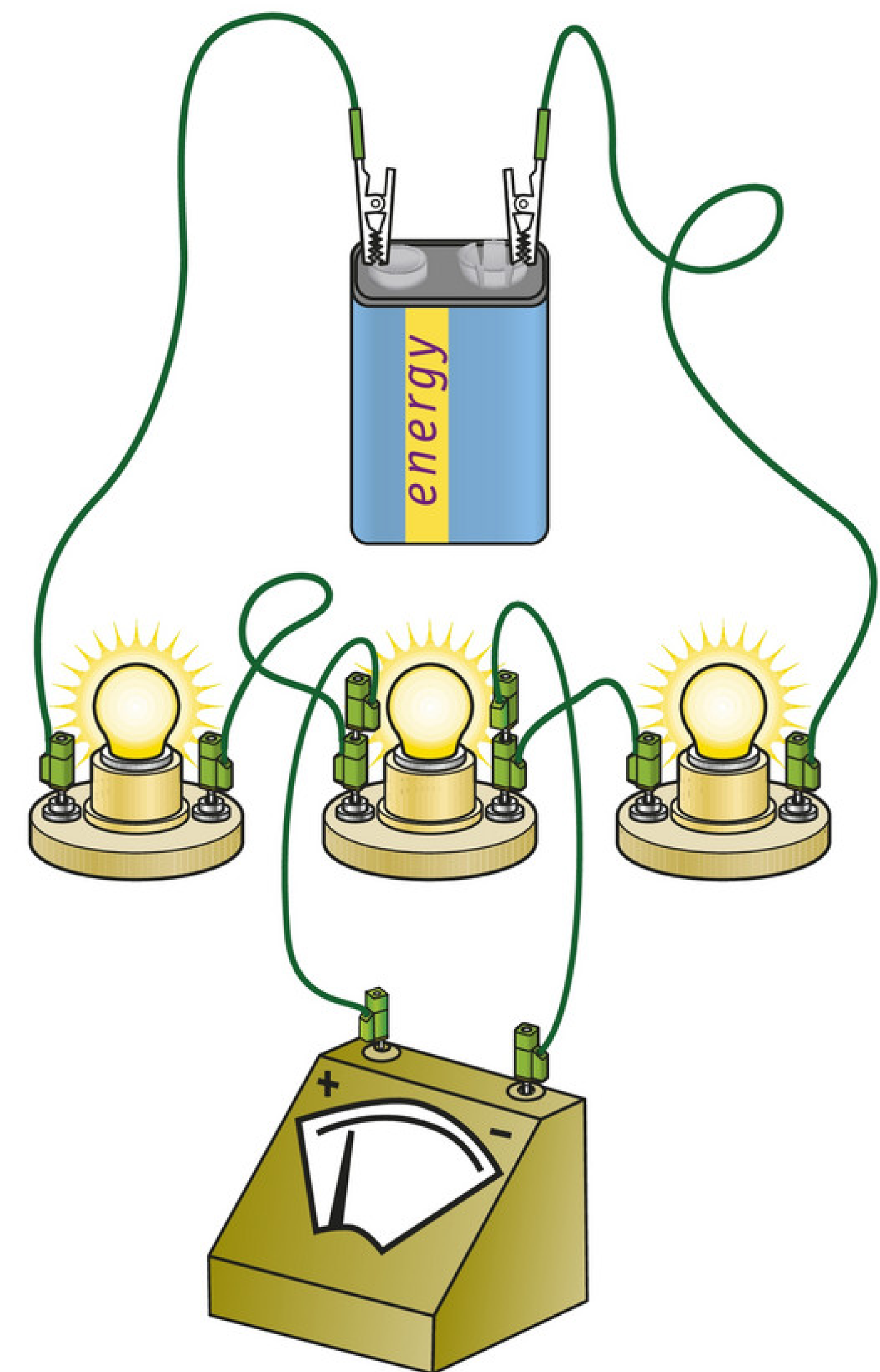
De stroomsterkte in een serieschakeling is overal even groot. Het maakt in figuur 23 niet uit waar je de stroomsterkte meet: tussen de batterij en het eerste lampje, tussen het eerste en het tweede lampje, tussen het tweede en het derde lampje of tussen het derde lampje en de batterij. Je krijgt steeds dezelfde meetwaarde.

component
symbool
snoer
batterij
lampje
schakelaar
open
dicht
spanningsmeter
V
stopcontact
stroommeter
A
bel
motor
M
led

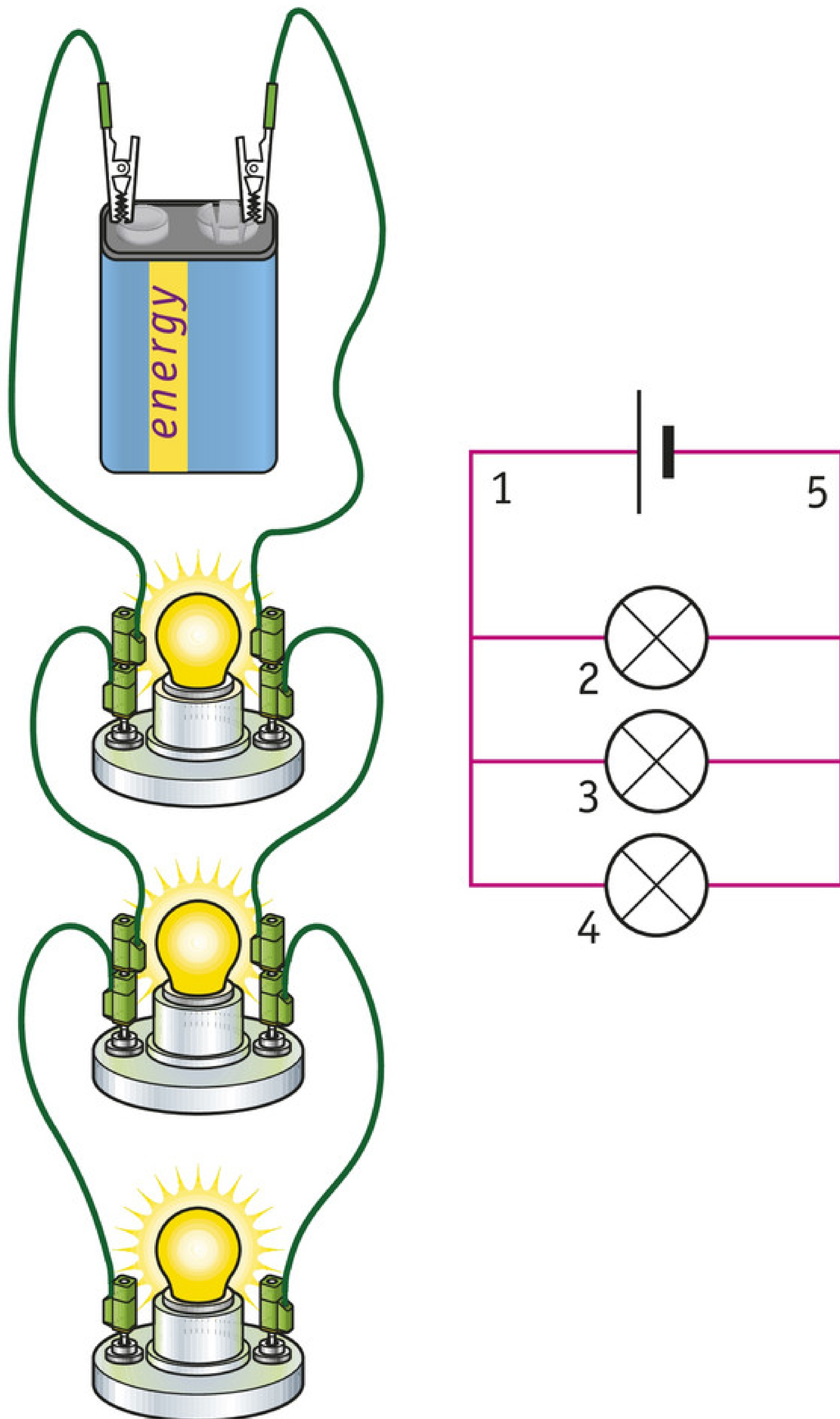
▲ **figuur 22**
symbolen voor schakelschema's



▲ figuur 23
een serieschakeling van drie lampjes



▲ figuur 24
de spanning over één lampje meten



▲ figuur 25
een parallelschakeling van drie lampjes

De elektrische energie die de deeltjes bij zich hebben, wordt over de drie lampjes verdeeld. Als je drie identieke lampjes hebt gebruikt, krijgt elk lampje een derde van de **bronspanning** (de spanning van de batterij). Dat kun je nagaan door de spanning over één lampje te meten, zoals in figuur 24 is getekend.

Parallelschakelingen Proef 7

Elektrische apparaten worden bijna altijd parallel geschakeld. Dat heeft drie voordelen:

1 Je kunt elk apparaat met een eigen schakelaar aan- en uitdoen.
2 Als één apparaat kapotgaat, kunnen de andere blijven werken.
3 Elk apparaat krijgt de volledige spanning van de spanningsbron.

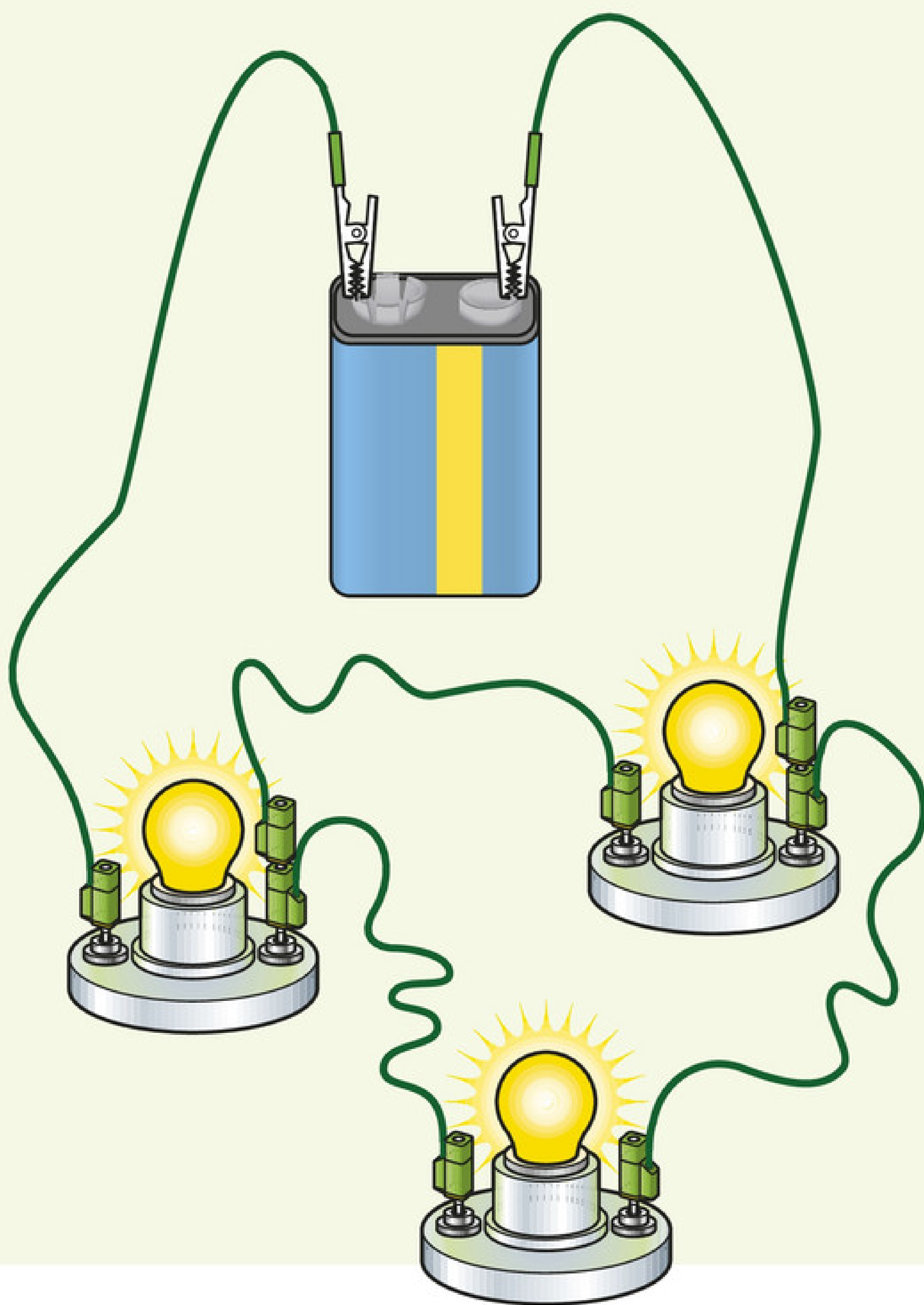
In figuur 25 zie je een **parallelschakeling** van drie lampjes. Elk lampje is rechtstreeks aangesloten op de bronspanning van 4,5 V. De schakeling vertakt zich om elk lampje apart van elektrische energie te kunnen voorzien. De parallelschakeling bestaat dus uit drie stroomkringen die elk apart geopend en gesloten kunnen worden.

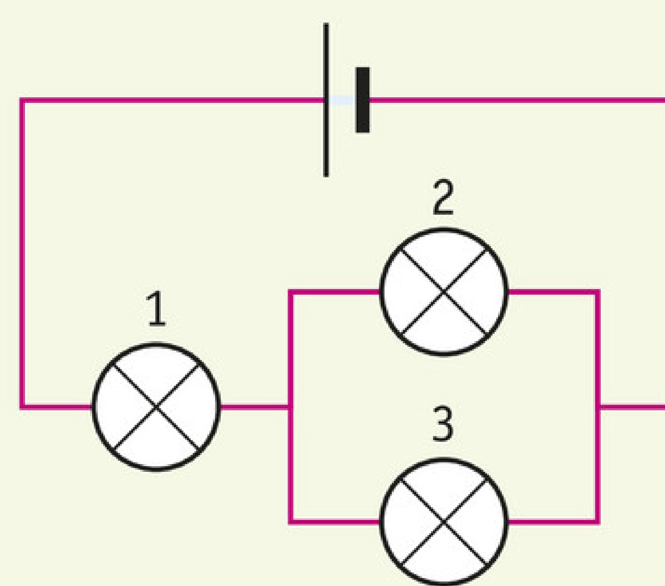
Op de plaats waar een parallelschakeling zich vertakt, splitst de stroom zich. In figuur 25 splitst de stroom zich in drieën. De stroomsterkte in de onvertakte gedeelten (bij 1 en 5) wordt de totale stroomsterkte genoemd. De stroomsterkte in de takken (bij 2, 3 en 4) is steeds een derde van de **totale stroomsterkte**. In een parallelschakeling is de stroomsterkte dus niet overal even groot, zoals in een serieschakeling.

Plus Gemengde schakelingen Proef 8

In een **gemengde schakeling** zijn sommige onderdelen in serie geschakeld en andere parallel. In figuur 26 zie je een voorbeeld van zo'n gemengde schakeling: de lampjes 2 en 3 zijn parallel aan elkaar geschakeld, maar staan in serie met lampje 1.

Een gemengde schakeling gedraagt zich anders dan een serieschakeling of een parallelschakeling. Als je lampje 1 losdraait, gaan de lampjes 2 en 3 ook uit. Je hebt dan geen gesloten stroomkring meer. Maar als je lampje 2 losdraait, blijven de lampjes 1 en 3 gewoon branden. Dat komt doordat er dan nog steeds een gesloten stroomkring is.





Vaak kun je beredeneren hoe groot de stroomsterkte is op verschillende plaatsen in een gemengde schakeling. Lampje 1 brandt bij voorbeeld feller dan lampje 2 en 3. Ga maar na: alle stroom die door lampje 2 en door lampje 3 gaat, moet ook door lampje 1 gaan. Door lampje 1 loopt dus evenveel stroom als door lampje 2 en 3 samen.

▲ **figuur 26**
een gemengde schakeling van drie lampjes

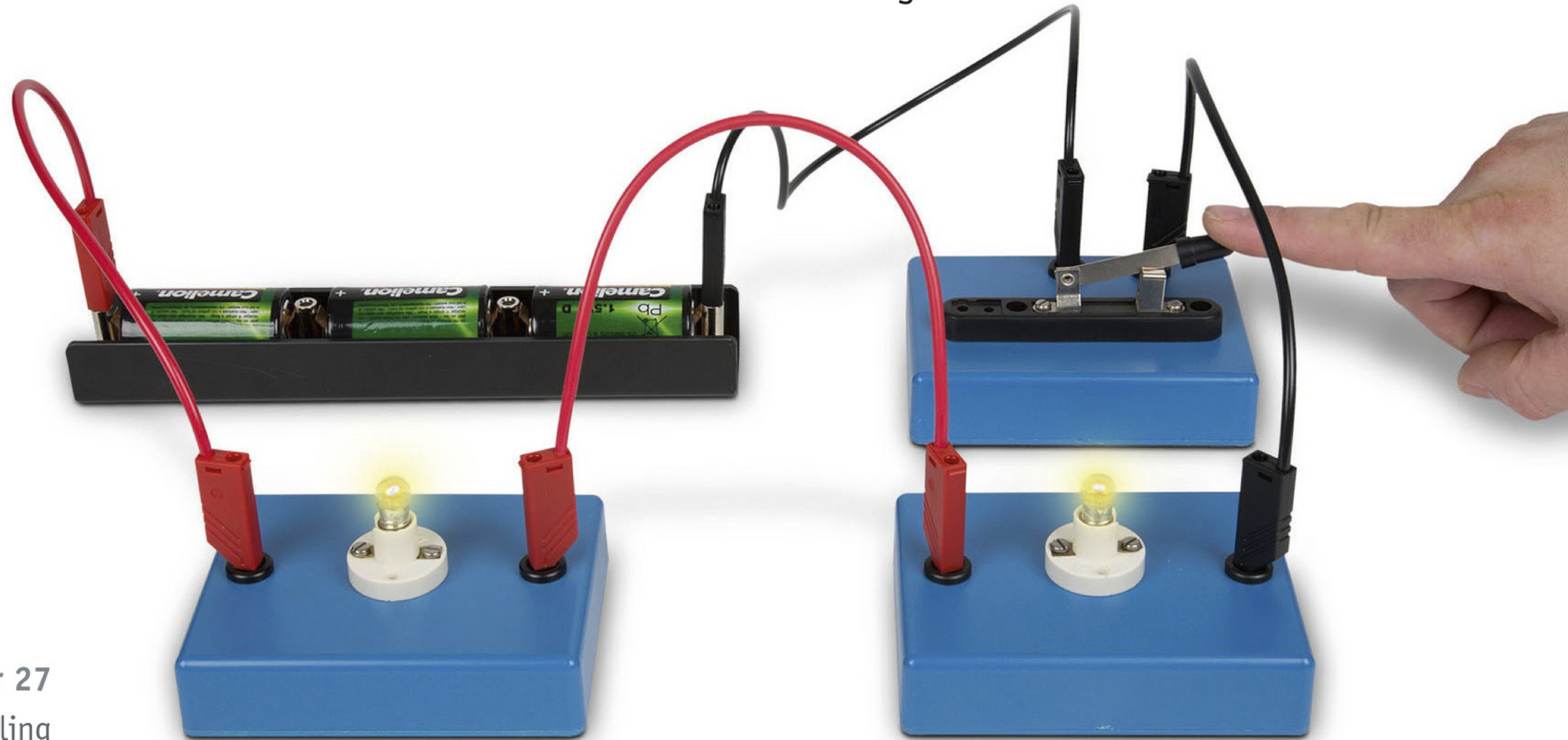
opgaven Leerstof

27 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Hoe moet je lampen schakelen om ze apart aan en uit te kunnen zetten?
- **b** In welk soort schakeling is de stroomsterkte op alle plaatsen even groot?
- **c** Waarom worden elektrische apparaten bijna altijd parallel geschakeld?
- **d** Wat wordt bedoeld met de totale stroomsterkte in een parallelschakeling?

28 Teken het schakelsymbool van:
- **a** een lampje.
- **b** een schakelaar.
- **c** een bel.
- **d** een spanningsmeter.

Toepassing

29 In figuur 27 zie je een foto van een schakeling.
Teken het schakelschema van deze schakeling.



▶ **figuur 27**
een schakeling

30 Benno schakelt drie identieke lampjes in serie. Hij sluit de lampjes daarna aan op een batterij van 9 V.

- **a** Beredeneer hoe groot de spanning is die elk lampje dan krijgt.
- **b** Benno ziet dat de lampjes maar flauw branden. Zijn docent zegt dat de lampjes beter zullen branden, als Benno de bronspanning verhoogt tot 18 V. “Pak maar een tweede batterij,” zegt hij, “daarmee lukt het wel.” Leg uit hoe Benno de twee batterijen dan moet schakelen.
- **c** Op welke spanning brandt elk lampje, als de bronspanning 18 V is?

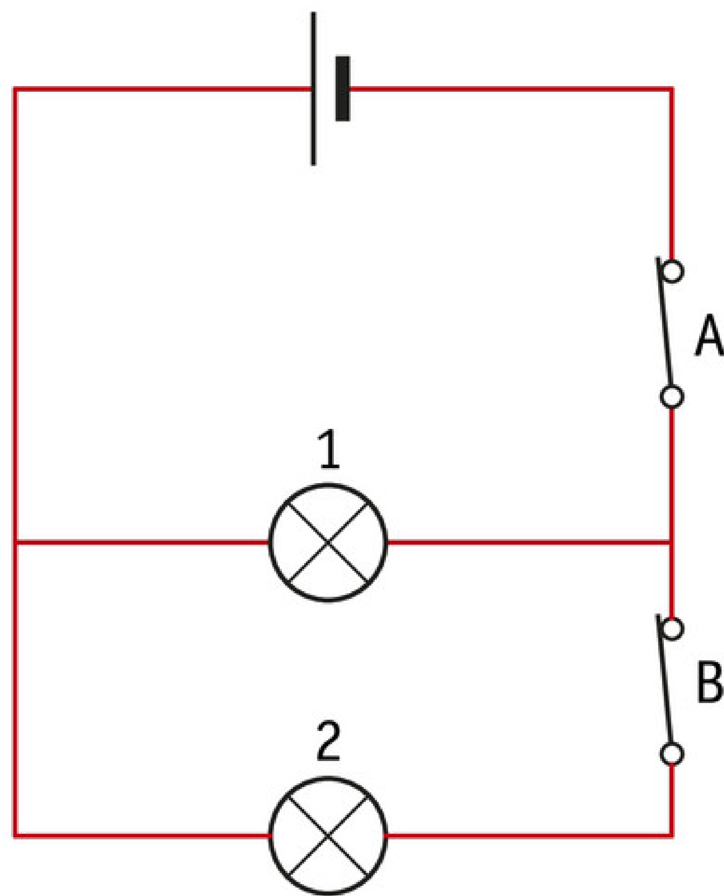
31 In een huiskamer branden twee staande lampen en een bureaulamp. Eén van de staande lampen gaat kapot.

- **a** Gebeurt er dan ook iets met de andere staande lamp?
- **b** Gebeurt er dan ook iets met de bureaulamp?
- **c** Hoe zijn de stopcontacten in huis dus geschakeld?

32 Een auto heeft knipperlichten, remlichten, koplampen, achterlichten, enzovoort.
Hoe zijn deze lampen geschakeld: in serie of parallel? Licht je antwoord toe.

33 Amanda heeft een schakeling gemaakt waarin twee lampjes parallel zijn aangesloten op een batterij.

- **a** Teken het schakelschema van deze schakeling. Nummer de lampjes met 1 en 2.
- **b** Amanda wil een schakelaar toevoegen, waarmee ze lamp 2 aan en uit kan doen, terwijl lamp 1 blijft branden.
  Teken deze schakelaar op de juiste plaats in het schakelschema.



▲ **figuur 28**
een schakeling

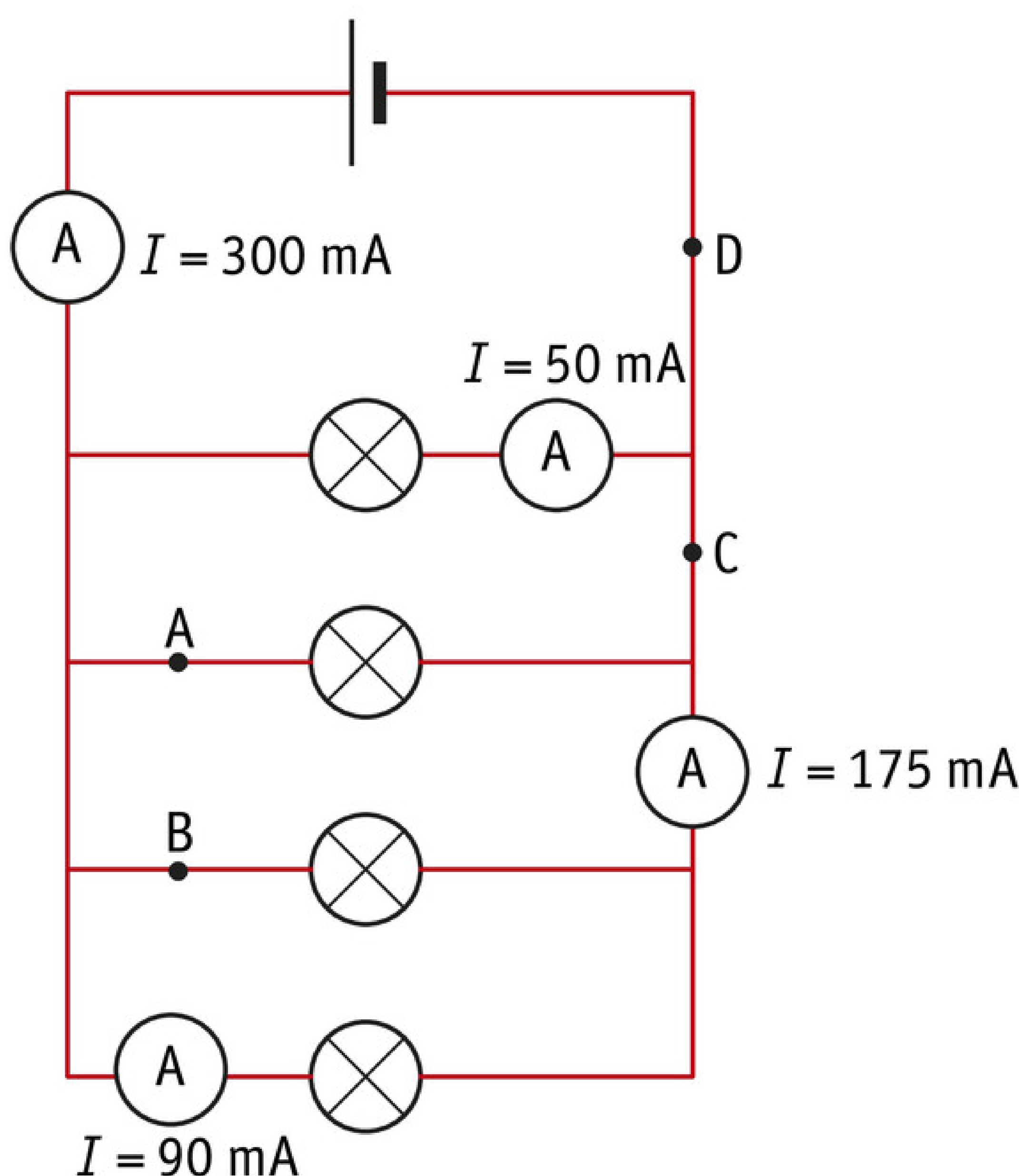
34 Bekijk de schakeling in figuur 28.
Noteer welke lampjes branden:
- **a** als schakelaar A open is en schakelaar B gesloten.
- **b** als schakelaar B open is en schakelaar A gesloten.
- **c** als de twee schakelaars allebei gesloten zijn.

***35** Arno heeft de schakeling van figuur 29 gemaakt. Hij heeft op vier punten de stroomsterkte gemeten.
Beredeneer hoe groot de stroomsterkte is:
- **a** in punt A.
- **b** in punt B.
- **c** in punt C.
- **d** in punt D.

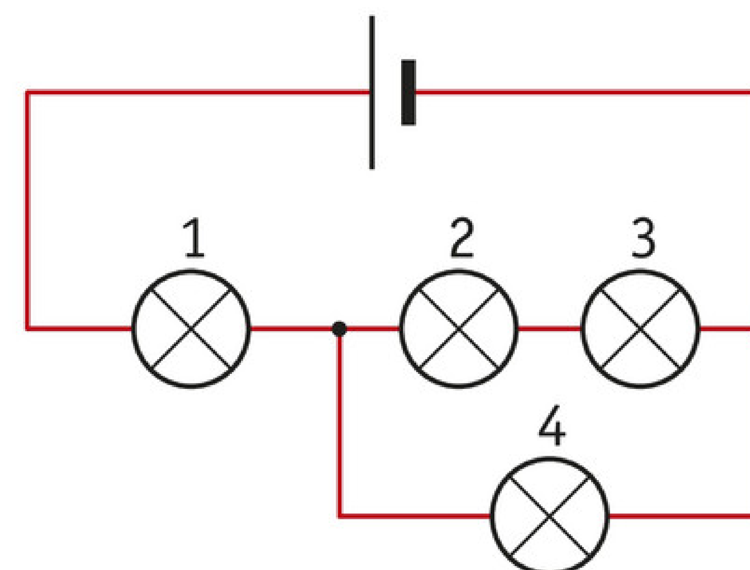
Plus Gemengde schakelingen

36 Bekijk de schakeling in figuur 30. Alle lampjes zijn identiek.
- **a** Welke lampjes gaan uit als je lampje 1 losdraait?
- **b** Welke lampjes gaan uit als je lampje 2 losdraait?
- **c** Welke lampjes gaan uit als je lampje 3 losdraait?
- **d** Welke lampjes gaan uit als je lampje 4 losdraait?
- **e** Waarom brandt lampje 1 het felst?

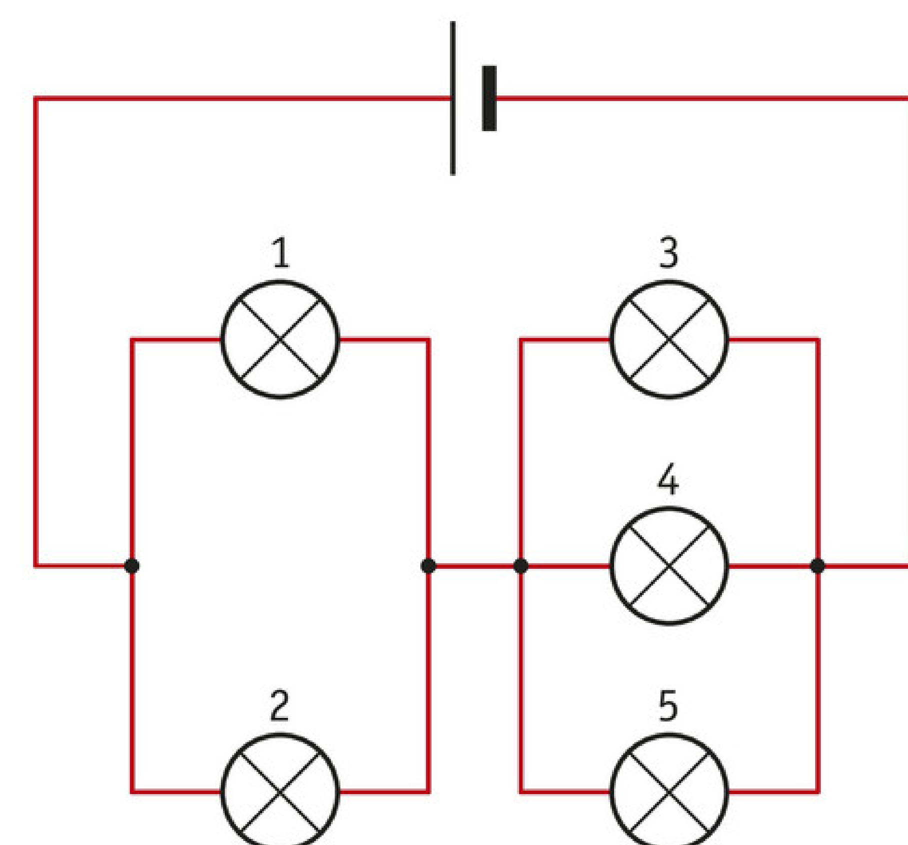
37 Bekijk de schakeling in figuur 31. Alle lampjes zijn identiek.
- **a** Welke lampjes zijn parallel geschakeld?
- **b** Waarom branden de lampjes 1 en 2 feller dan de lampjes 3, 4 en 5?
- **c** Waarom gaan alle lampjes even fel branden als je lampje 3 losdraait?
- **d** Gegeven is dat de batterij een stroom van 0,30 A levert.
  Hoe groot is dan de stroom door de vijf afzonderlijke lampjes?



▲ **figuur 29**
de schakeling van Arno



▲ **figuur 30**
een schakeling met vier lampjes



▲ **figuur 31**
een schakeling met vijf gelijke lampjes

4 Vermogen en energie



▲ figuur 32
Op verpakkingen van lampen wordt altijd het vermogen vermeld.

Je hebt niet zoveel aan een mobiele telefoon, als je hem steeds aan de lader moet leggen. Daarom is het belangrijk dat een telefoon zo efficiënt mogelijk omgaat met de beschikbare elektrische energie. Hoe zuiniger het apparaat daarmee is, des te langer duurt het voordat de batterij weer opgeladen moet worden.

Het vermogen van een apparaat

Een laptop verbruikt in dezelfde tijd meer elektrische energie dan een tablet. Je zegt dat een laptop vergeleken met een tablet een groter vermogen heeft. Het **vermogen** geeft aan hoeveel elektrische energie een apparaat per seconde verbruikt. Hoe groter het vermogen, hoe meer elektrische energie het apparaat in één seconde 'opslurpt'.

Bij veel apparaten staat het vermogen vermeld op de verpakking. Dat geldt bijvoorbeeld voor de lamp in figuur 32. Het vermogen wordt meestal opgegeven in watt (W), soms ook in milliwatt (mW) en in kilowatt (kW). Als het vermogen niet altijd even groot is, wordt de maximale waarde opgegeven.

Het vermogen van sommige apparaten is heel veranderlijk. Bij een mobiele telefoon stijgt het vermogen bijvoorbeeld sterk als je belt of gebruikmaakt van internet. Als de telefoon op stand-by staat, is het vermogen juist heel klein. Er zijn ook apparaten die wel een constant vermogen hebben, zoals een zaklantaarn of een elektrische klok.

Het vermogen berekenen

Het vermogen van een apparaat hangt af van twee factoren: (1) de spanning waarop het apparaat werkt, en (2) de stroomsterkte die door het apparaat loopt. Dat is logisch als je kijkt naar wat de grootheden spanning en stroomsterkte inhouden. De spanning vertelt je hoeveel energie één deeltje aan het apparaat levert. De stroomsterkte vertelt je hoeveel deeltjes per seconde hun energie afgeven. Samen bepalen ze het vermogen.

Het 'tankautomodel' in paragraaf 2 kan je helpen om dit begrijpen. Je kunt het vermogen vergelijken met de hoeveelheid benzine die per uur langs een bepaalde weg wordt vervoerd. Ga zelf na dat die hoeveelheid afhangt van twee factoren: (1) hoeveel benzine elke tankauto vervoert (de 'spanning') en (2) hoeveel tankauto's in één uur langs komen rijden (de 'stroomsterkte').

Je kunt het vermogen daarom berekenen met de formule:

vermogen = spanning × stroomsterkte

Of in letters:

$P = U \cdot I$

Als je de spanning U invult in volt en de stroom I in ampère, vind je het vermogen P in watt (W).

Voorbeeldopgave 1
Op een website kun je reservelampjes kopen voor zaklampen (figuur 33).
Controleer of het vermogen van het lampje in figuur 33 juist is berekend.

gegevens	U = 6 V
	I = 400 mA = 0,4 A
gevraagd	P = ?
uitwerking	$P = U \cdot I$
	= 6 x 0,4
	= 2,4 W

Dit klopt met de waarde die op de website vermeld staat.

HALOGEN

Halogeen kraaglamp
Spanning (lamp) **6** V
Stroom **400** mA
Vermogen **2,4** W

€ 2,95

▶ **figuur 33**
een aanbieding op een website

Vermogen, tijd en energieverbruik

Een apparaat zoals een mobiele telefoon of een tablet, kan maar een beperkte tijd op de batterij werken. Hoe groter het vermogen van het apparaat, des te sneller zal de batterij weer leeg zijn. Er zijn daarom allerlei manieren bedacht om het vermogen van een apparaat laag te houden.

Het vermogen van een apparaat is de optelsom van de vermogens van de verschillende onderdelen. De ontwerpers van zo´n apparaat kiezen daarom onderdelen die zuinig zijn met energie. Als twee beeldschermen ongeveer dezelfde prestaties hebben, krijgt het beeldscherm met het laagste vermogen de voorkeur.

Ook de software helpt mee om het vermogen laag te houden. Als je een mobiele telefoon of een tablet even niet gebruikt, schakelt de software zoveel mogelijk onderdelen uit. Het beeldscherm gaat bijvoorbeeld al na enkele seconden op zwart (figuur 34). Hierdoor daalt het totale vermogen van het apparaat meteen.

Aan het verlagen van het vermogen zit een grens. Daarom wordt er ook veel onderzoek gedaan aan het vergroten van de opslagcapaciteit van batterijen en accu's. Als een batterij meer elektrische energie kan opslaan, kan een apparaat er – bij hetzelfde vermogen – langer op werken.



▶ **figuur 34**
Een mobieltje gaat op zwart.

Plus De capaciteit van een oplaadbare batterij

Bij sommige oplaadbare batterijen duurt het veel langer tot ze leeg zijn dan bij andere. Je kunt dat afleiden uit de **capaciteit** die op de batterij vermeld staat (figuur 35). De capaciteit van batterijen wordt meestal opgegeven in de eenheid milli-ampère-uur (mAh).



▲ **figuur 35**
Op deze drie batterijen staat de capaciteit duidelijk aangegeven.

De capaciteit bereken je door de geleverde stroom te vermenigvuldigen met het aantal uren dat de batterij die stroom kan leveren. De formule voor de capaciteit is dus:

$$C = I \cdot t$$

Als je de stroomsterkte I invult in mA en de tijd t in uren (h), vind je de capaciteit C in mAh.

Als een batterij een capaciteit van 2000 mAh heeft, kan hij 200 uur lang een stroom van 10 mA leveren. Maar als dezelfde batterij een stroom van 500 mA moet leveren, is hij al na 4 uur leeg.

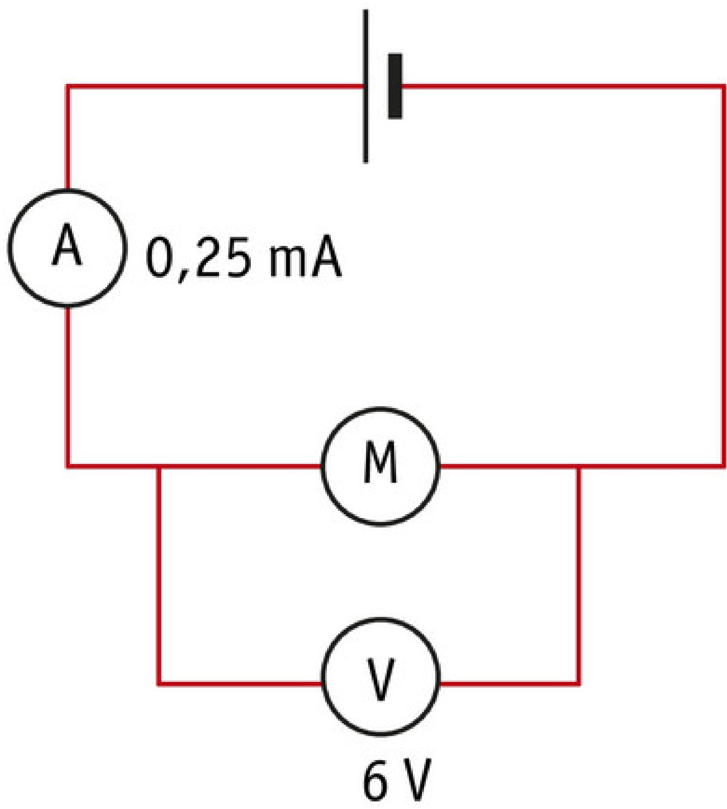
opgaven Leerstof

38 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Van welke factoren hangt het vermogen van een elektrisch apparaat af?
- **b** Met welke formule kun je het vermogen van zo'n apparaat berekenen?
- **c** Waarom wordt het vermogen van een telefoon zo laag mogelijk gehouden?
- **d** Hoe helpt de software van een telefoon om het vermogen laag te houden?

39 Neem tabel 1 over en vul de ontbrekende gegevens in.

▼ **tabel 1** elektrische grootheden en eenheden

grootheid	symbool	eenheid	symbool
spanning			V
		ampère	
	P		



▲ **figuur 36**
de proef van Mireille

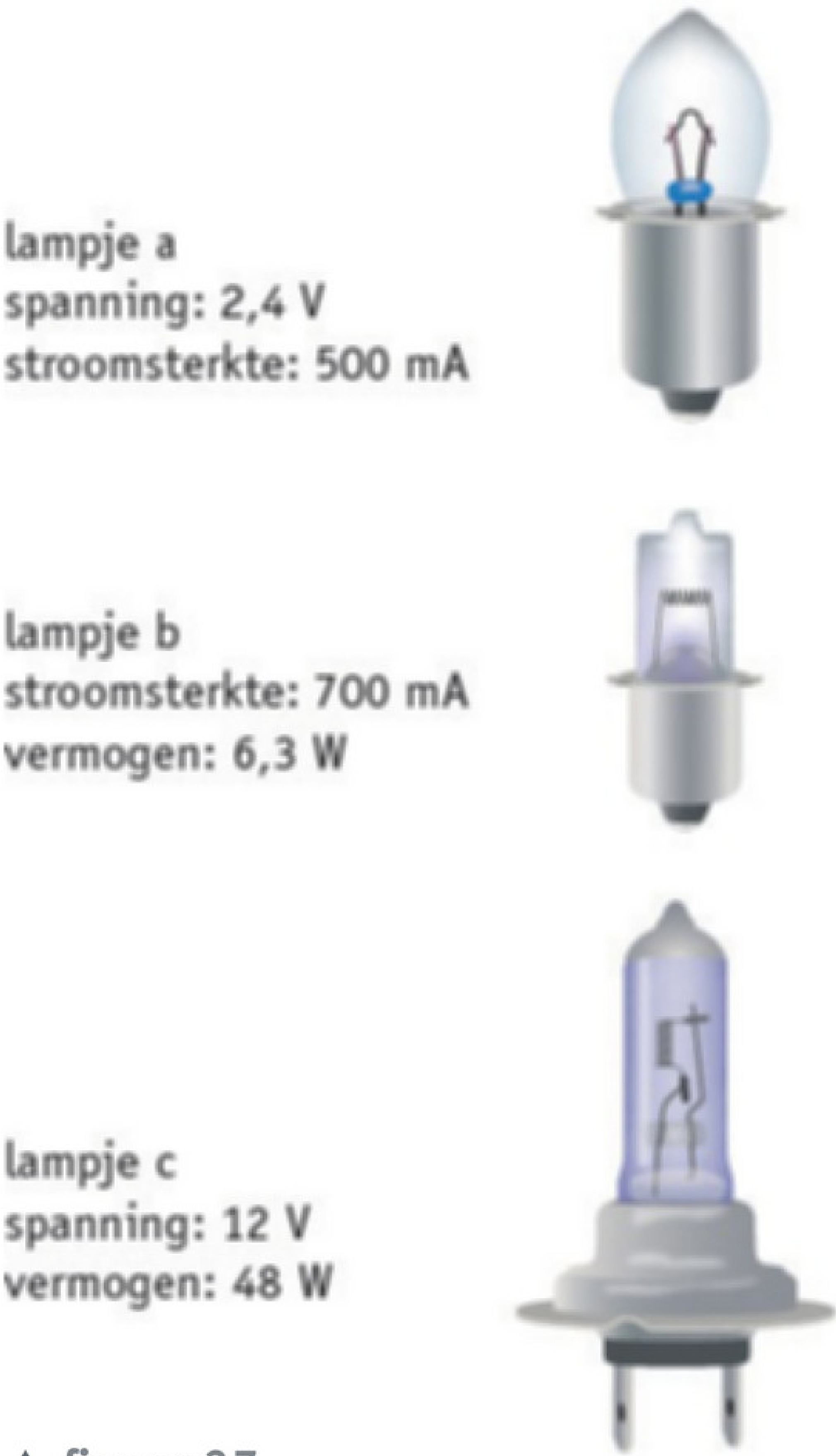
Toepassing

40 Hieronder staan vijf apparaten die op elektrische energie werken.
boormachine (snoerloos) – elektrische tandenborstel – polshorloge – rekenmachine – tv-toestel (grootbeeld)
Zet de apparaten op volgorde van vermogen: het apparaat met het kleinste vermogen voorop, het apparaat met het grootste vermogen achteraan.

41 Mireille voert de proef uit die in figuur 36 getekend is.
- **a** Noteer de spanning en de stroomsterkte.
- **b** Bereken het vermogen van het motortje.

42 Zie vaardigheid 12 achter in het boek.
In figuur 37 zie je de gegevens van drie lampjes. Van elk lampje is steeds één gegeven weggelaten.
- **a** Bereken het vermogen dat lampje a opneemt.
- **b** Bereken de spanning waarop lampje b brandt.
- **c** Bereken de stroomsterkte die door lampje c loopt.

43 Het beeldscherm van Franks computer werkt op een spanning van 12 V. Als het beeldscherm aan staat, is de stroomsterkte 2,0 A.
- **a** Bereken hoe groot het vermogen van het beeldscherm is.
- **b** Als het beeldscherm in de slaapstand staat, is het vermogen 0,6 W. Bereken hoe groot de stroomsterkte in de slaapstand is.



▲ **figuur 37**
drie lampjes

44 Op veel plaatsen in ontwikkelingslanden is geen goede elektriciteitsvoorziening. Met het oog daarop is de Firefly Solar Led Light ontwikkeld (figuur 38). In deze bureaulamp zitten twaalf leds. De lamp brandt op een oplaadbare batterij van 1,2 V. De batterij wordt opgeladen met een zonnepaneeltje dat meegeleverd wordt.
Door één led loopt een stroom van 18 mA als hij aan is. De leds zijn parallel geschakeld.

a Hoe groot is de totale stroomsterkte als alle twaalf leds aan staan?
b Bereken het totale vermogen van de lamp als alle twaalf leds aan staan.
c Leg uit waarom de lamp niet rechtstreeks op het zonnepaneel wordt aangesloten, maar op een oplaadbare batterij werkt.



▶ **figuur 38**
de Firefly Solar Led Light, een bureaulamp die met een zonnepaneel wordt opgeladen

45 Tina heeft een smartphone die ze intensief gebruikt.
Hoe verandert het vermogen van haar smartphone:

a als ze gebeld wordt door een vriend of vriendin?
b als ze gps uitzet, omdat ze wel weet waar ze is?
c als ze de helderheid van het scherm hoger zet?
d als ze een app na gebruik meteen weer afsluit?
e als ze in de pauze een onlinegame gaat spelen?

46 Voor smartphones zijn er verschillende apps die ervoor zorgen dat de batterij minder vaak opgeladen hoeft te worden. Dit gebeurt vooral door programma's en apps die telkens verbinding maken met internet, uit te zetten als je ze niet gebruikt.

a Leg uit waarom de batterij dan minder vaak opgeladen hoeft te worden.
b Leg uit wat er gebeurt met het vermogen dat de smartphone gebruikt.



▲ **figuur 39**
een oplaadbare batterij

***47** Een elektrische fiets gebruikt ongeveer 175 W als je zelf helemaal niet meetrapt. Je kunt ook zelf fietsen en de elektrische motor alleen gebruiken om lichter te hoeven trappen. De motor verbruikt dan ongeveer 70 W.

a Leg uit waarom het vermogen van de elektrische motor minder wordt als je zelf meetrapt.
b Zonder mee te trappen, kun je 50 km fietsen op een volle accu. Hoe ver kom je op een volle accu als je zelf wel meetrapt?
c Maakt het voor de afstand die je op een volle accu kunt afleggen, ook uit of je wind mee of wind tegen hebt? Licht je antwoord toe.

Plus De capaciteit van een oplaadbare batterij

48 Een accu heeft een capaciteit van 2900 mAh. De spanning van de accu is 3,7 V. Joris gebruikt deze accu in zijn mp3-speler. Door de mp3-speler gaat een stroom van 0,1 A.

a Bereken na hoeveel uur Joris de accu weer moet opladen.
b Bereken hoe groot het vermogen van zijn mp3-speler is.

49 De oplaadbare batterij in figuur 39 levert een spanning van 1,2 V. De batterij wordt gebruikt in een zaklantaarn die een vermogen van 2,4 W heeft.

a Bereken hoe groot de stroomsterkte door de zaklantaarn is.
b Lees uit de figuur af hoe groot de capaciteit van de batterij is.
c Bereken na hoeveel tijd de batterij weer opgeladen moet worden.

50 Milan wil weten welke batterijen hij het beste kan gebruiken in zijn camera. Op de website vindt hij daar informatie over. Zie figuur 40. De camera van Milan werkt alleen als de spanning hoger is dan 1 V.

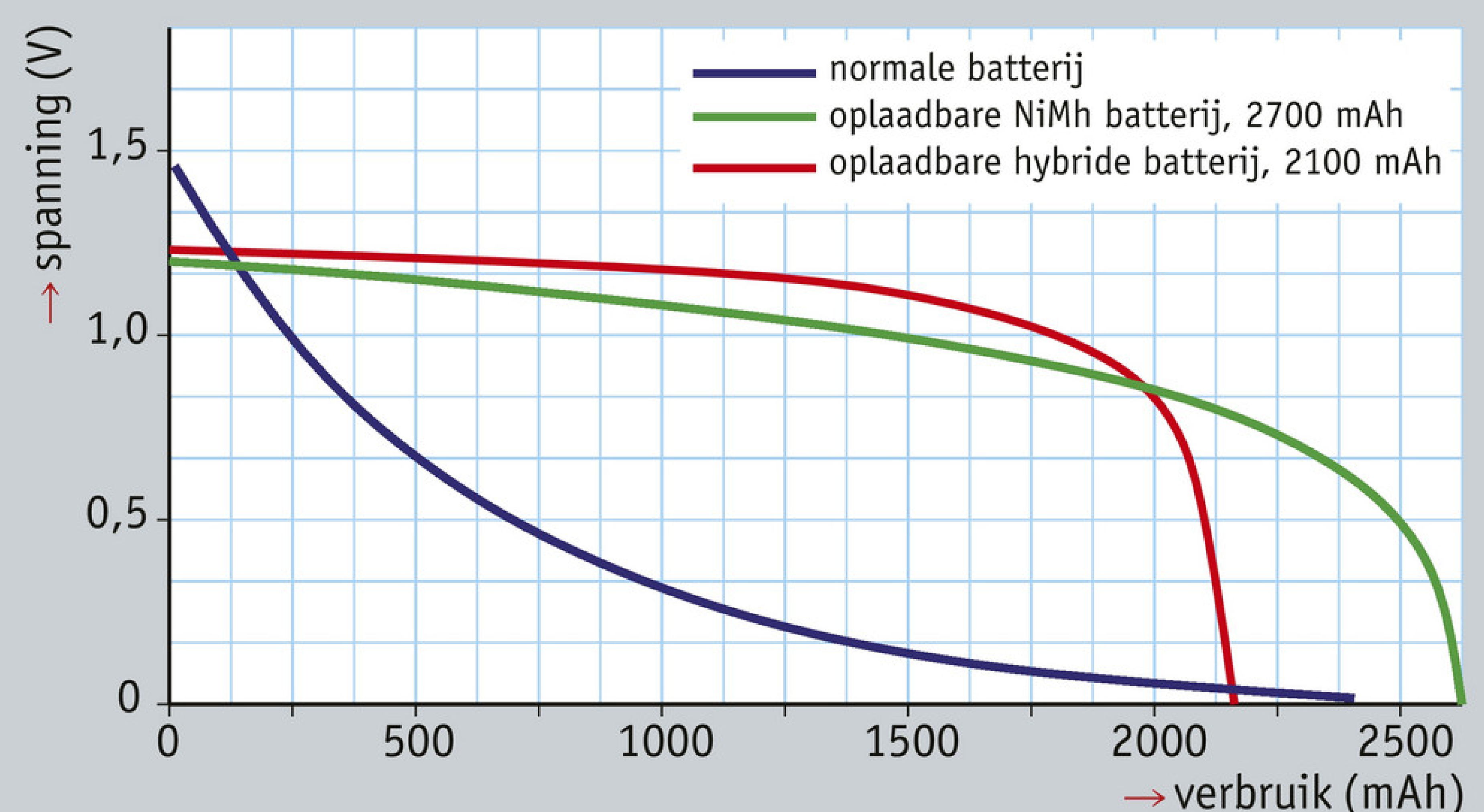
a Welke batterij kan Milan het beste gebruiken in zijn camera?
b Milans mp3-speler werkt nog bij een spanning van 0,5 V. Welke batterij is het meest geschikt voor zijn mp3-speler?

▼ **figuur 40**
het verloop van de spanning bij drie verschillende batterijen

Dus hoe meer mAh, hoe beter?

Nee, dat is niet zo. Een batterij heeft namelijk behalve de spanning en de stroom, nog een variabele die heel belangrijk is om te begrijpen. Het vervelende is dat deze variabele zo onbekend is, dat deze bij de meeste batterijen zelfs niet wordt vermeld op de verpakking. Het kiezen van een batterij is hierdoor erg moeilijk.

Het aantal mAh van een batterij geeft namelijk niet aan hoe de spanning daalt als de batterij gebruikt wordt. De spanning van sommige batterijen daalt al snel onder het niveau dat uw apparaat nodig heeft, terwijl de batterij nog niet uitgeput is.



Practicum

Proef 1 Geleiders en isolatoren 15 min

Inleiding
Je kunt stoffen verdelen in geleiders en isolatoren. Door geleiders kan wel een elektrische stroom lopen, door isolatoren niet (of nauwelijks).

Doel
Bij deze proef ga je van een aantal stoffen onderzoeken of ze een geleider of een isolator zijn.

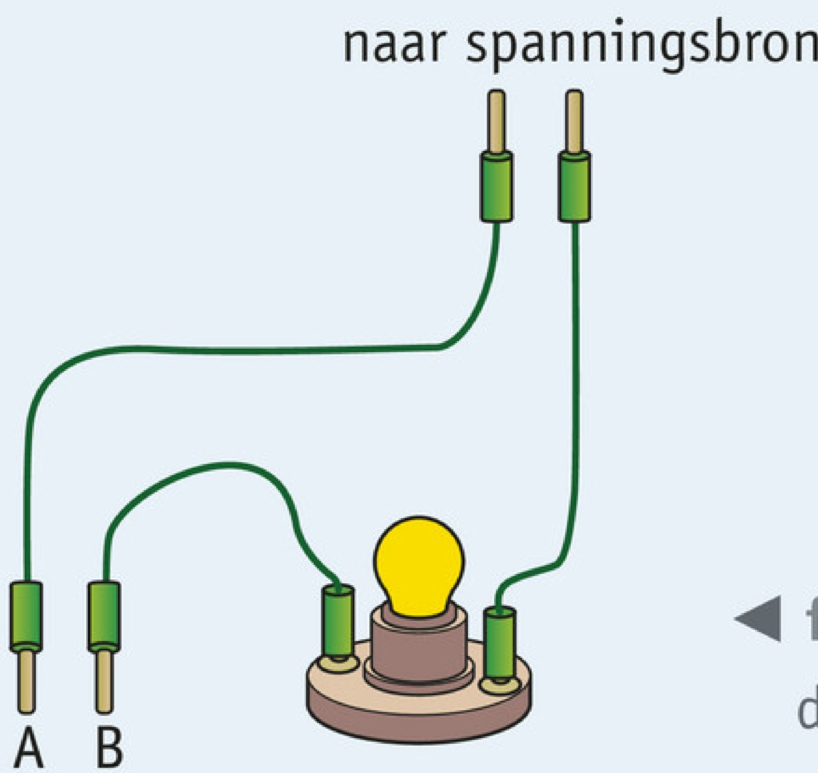
Nodig
- spanningsbron
- lampje in fitting
- drie snoeren
- koperen staafje
- zeven andere voorwerpen

Uitvoeren en uitwerken
– Maak de schakeling van figuur 41.
– Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.
– Zet de uiteinden A en B van de snoeren op het koperen staafje. Je ziet dat het lampje dan gaat branden. Blijkbaar laat koper een elektrische stroom door. Daarom noem je koper een geleider.
– Je hoort van je docent welke voorwerpen je nog meer voor deze opdracht nodig hebt.

1 Neem tabel 2 over in je schrift.
Noteer in de tabel:
a hoe de verschillende voorwerpen heten.
b van welke stoffen ze zijn gemaakt.

– Onderzoek welke stoffen geleiders zijn en welke isolatoren.

2 Noteer de uitkomsten in de tabel.



◀ **figuur 41** de schakeling van proef 1

▼ **tabel 2** geleiders en isolatoren

voorwerp	gemaakt van	geleider of isolator
staafje	koper	geleider
enz.		

Aanwijzingen voor de proeven 2, 5 en 7
- Om de stroomsterkte door een lampje te meten, schakel je de stroommeter **in serie** met het lampje. Zie vaardigheid 8 achter in het boek.
- Laat de schakeling controleren door je docent, voordat je de spanning inschakelt.

Proef 2 De stroomsterkte meten 10 min

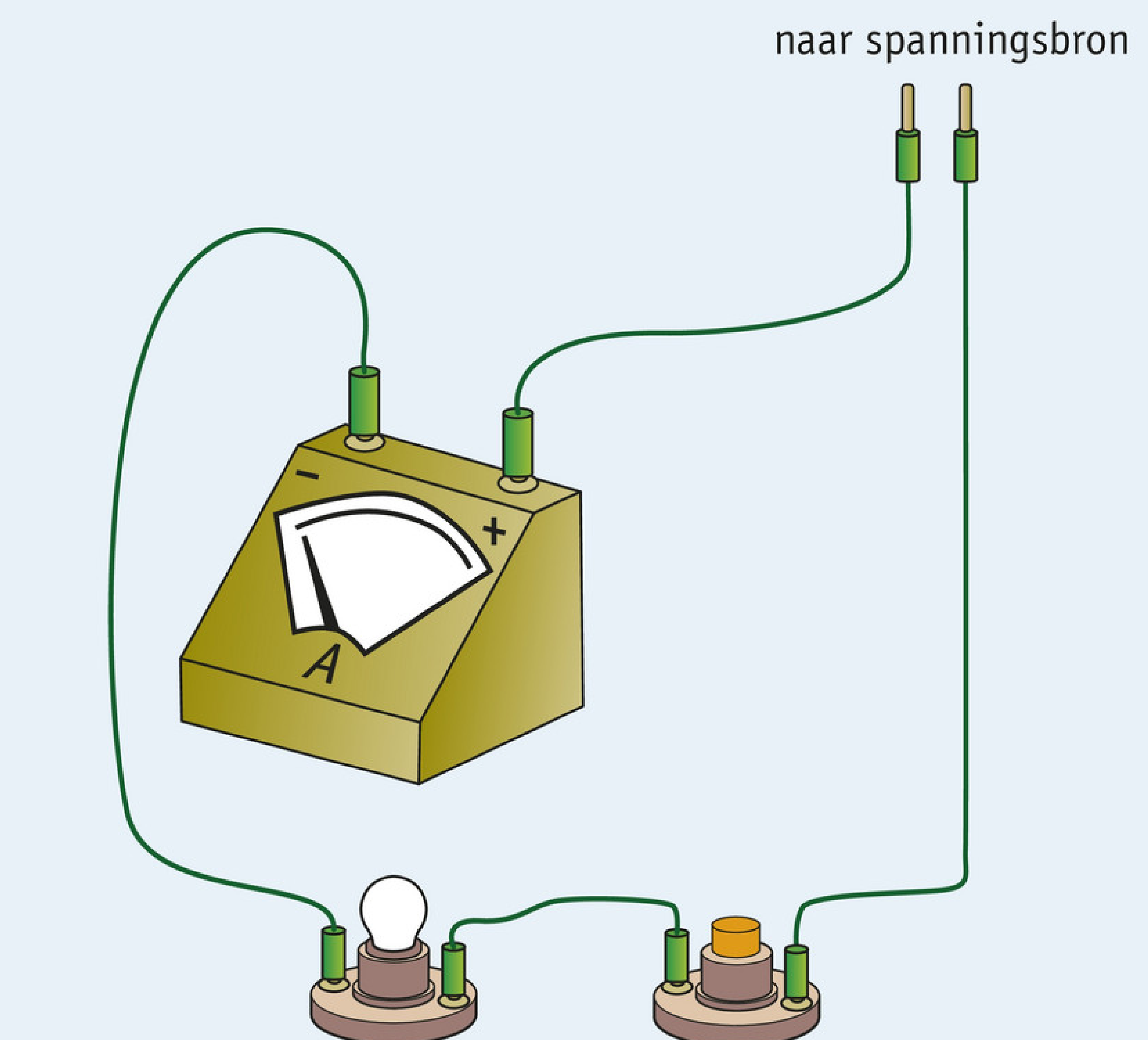
Inleiding
Met een stroommeter kun je de stroomsterkte in een stroomkring meten. Je schakelt de stroommeter daarbij in serie met de andere onderdelen van de stroomkring.

Doel
Je gaat oefenen met het meten van de stroomsterkte.

Nodig
- spanningsbron
- lampje in fitting
- vier snoeren
- stroommeter
- schakelaar

Uitvoeren en uitwerken
- Maak de schakeling van figuur 42. Gebruik het grootste meetbereik. Zie vaardigheid 8 achter in het boek.
- Laat de schakeling door je docent controleren!
- Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.
- Meet met de stroommeter de stroomsterkte door het lampje. Doe dat zowel links als rechts van het lampje.
- Schakel indien mogelijk over op een kleiner meetbereik voordat je de stroomsterkte definitief afleest.

1 Hoe groot is de stroomsterkte door het lampje? Vergeet de eenheid niet!
2 Maakt het uit of je de stroomsterkte links of rechts van het lampje meet?



▲ **figuur 42**
de schakeling van proef 2

Proef 3 Lampjes schakelen 30 min

Inleiding
Je kunt lampjes op verschillende manieren schakelen. Dat wil zeggen dat je de lampjes (geleidend) met elkaar en met een spanningsbron verbindt, zodat je ze aan en uit kunt zetten. Elk soort schakeling heeft zijn eigen voor- en nadelen.

Doel
Bij deze proef maak je kennis met drie soorten schakelingen: de serieschakeling, de parallelschakeling en de gemengde schakeling.

Nodig
- spanningsbron
- drie lampjes in fittingen
- zes snoeren

Uitvoeren en uitwerken
Een serieschakeling maken
Eerst ga je een serieschakeling maken met de drie lampjes. Dat is een schakeling zonder vertakkingen: de stroom loopt van de spanningsbron eerst naar lampje 1, dan naar lampje 2, dan naar lampje 3 en ten slotte terug naar de spanningsbron.

1 Teken het schakelschema van deze schakeling. Zet erbij: een serieschakeling van drie lampjes.

- Bouw de schakeling volgens het schakelschema. Zie vaardigheid 10 achter in je boek.
- Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.

2 Beschrijf hoe de lampjes branden: fel, gewoon of zwak.

– Schroef de lampjes een voor een los (en daarna weer vast).

3 Wat gebeurt er met de andere lampjes?

– Noteer wat er elke keer met de andere lampjes gebeurt.

Een parallelschakeling maken
Je gaat nu een parallelschakeling maken met de drie lampjes. Dat is een schakeling met drie vertakkingen: een voor elk lampje. De stroom splitst zich vóór de lampjes in drieën – zodat elk lampje een derde van de stroom krijgt – en komt na de lampjes weer bij elkaar.

4 Teken het schakelschema van deze schakeling. Zet erbij: een parallelschakeling van drie lampjes.

– Bouw de schakeling volgens het schakelschema. Het is het handigst om eerst lampje 1 aan te sluiten op de spanningsbron. Maak daarna de aftakking voor lampje 2 en ten slotte de aftakking voor lampje 3.
– Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.

5 Beschrijf hoe de lampjes branden: fel, gewoon of zwak.

– Schroef de lampjes een voor een los (en daarna weer vast).

6 Noteer wat er elke keer met de andere lampjes gebeurt.

– Haal de schakeling weer uit elkaar.

Een gemengde schakeling maken
Je gaat nu een gemengde schakeling maken met de drie lampjes: een combinatie van een serieschakeling met een parallelschakeling. In plaats van drie vertakkingen, zoals bij de vorige schakeling, heb je er nu maar twee. Er zijn twee mogelijkheden om zo’n gemengde schakeling te maken, maar je hoeft er maar één uit te proberen.

7 Teken het schakelschema van jouw gemengde schakeling. Zet erbij: een gemengde schakeling van drie lampjes.

– Bouw de schakeling volgens het schakelschema.
– Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.

8 Beschrijf hoe de lampjes branden: fel, gewoon of zwak.

– Schroef de lampjes een voor een los (en daarna weer vast).

9 Noteer wat er elke keer met de andere lampjes gebeurt.

– Als je nog tijd over hebt, probeer dan ook de andere gemengde schakeling te tekenen en te bouwen.

Proef 4 Experimenteren met een schakelaar 20 min

Inleiding

Met een schakelaar kun je de stroom in- en uitschakelen. Je kunt er één onderdeel mee aan- en uitzetten, maar ook de complete schakeling in één keer. Dat hangt ervan af waar je de schakelaar in de schakeling opneemt.

Doel

Bij deze proef ga je onderzoeken welk effect een schakelaar heeft op verschillende plaatsen in een schakeling. De onderzoeksvraag luidt:
Hoe kun je met een schakelaar (a) één schakelonderdeel aan- en uitzetten; (b) verschillende schakelonderdelen tegelijk aan- en uitzetten?

Nodig

- spanningsbron
- drie lampjes in fittingen
- acht snoeren
- schakelaar

Uitvoeren en uitwerken

– Maak een parallelschakeling met de drie lampjes.
– Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.
– Controleer of de drie lampjes gewoon branden.

1 Maak een tekening van de schakeling die je gebouwd hebt. Nummer de snoeren die je gebruikt hebt, 1 tot en met 6.

– Maak de twee overgebleven snoeren vast aan de schakelaar.
– Vervang snoer 1 door de schakelaar met de twee snoeren (figuur 43).
– Kijk wat er gebeurt als je de stroom met de schakelaar in- en uitschakelt.

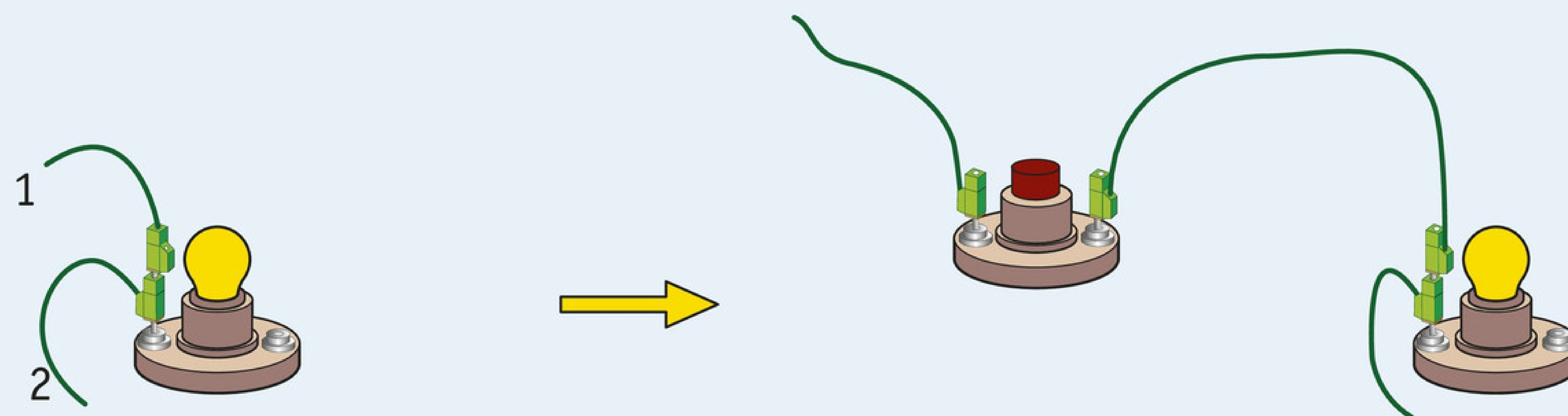
2 Teken het schakelschema van de schakeling die je gemaakt hebt.
Geef aan welke lampjes uitgaan, als je de schakelaar op UIT zet.

– Haal de schakelaar met de twee snoeren weg en sluit snoer 1 weer aan.
– Gebruik de schakelaar met de twee snoeren nu om snoer 2 te vervangen.
– Kijk wat er gebeurt als je de stroom met de schakelaar in- en uitschakelt.

3 Teken het schakelschema. Zet erbij welke lampjes nu uitgaan, als je de schakelaar op UIT zet.

– Doe vervolgens hetzelfde met de snoeren 3 tot en met 6.

4 Teken en noteer je waarnemingen in je schrift.
5 Beantwoord ten slotte de onderzoeksvraag.



▲ **figuur 43**
Zo kun je op de plaats van snoer 1 een schakelaar aanbrengen.

Proef 5 De stroomsterkte in een serieschakeling 20 min

Inleiding
Met een stroommeter kun je de stroomsterkte in een serieschakeling meten. Je kunt de stroom daarbij op verschillende plaatsen meten: tussen de spanningsbron en het eerste schakelonderdeel, tussen de schakelonderdelen in en na het laatste schakelonderdeel.

Doel
Je gaat onderzoeken welke regel er geldt voor de stroomsterkte in een serieschakeling.

Nodig
- spanningsbron
- twee lampjes in fittingen
- vijf snoeren
- stroommeter
- schakelaar

Uitvoeren en uitwerken
– Je gaat zo meteen een serieschakeling maken van twee lampjes en een stroommeter.

1 Teken het schakelschema van deze schakeling.

– Laat je docent het schakelschema controleren. Bouw daarna de schakeling.
– Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.
– Lees de stroomsterkte af. Gebruik eerst het grootste meetbereik van de stroommeter. Schakel daarna indien mogelijk over op een kleiner meetbereik.
– Meet de stroomsterkte drie keer: voor lampje 1, tussen lampje 1 en lampje 2 en na lampje 2.

2 Noteer de meetresultaten in je schrift. Vergeet de eenheid niet.
3 Welke regel geldt er voor de stroomsterkte in een serieschakeling?

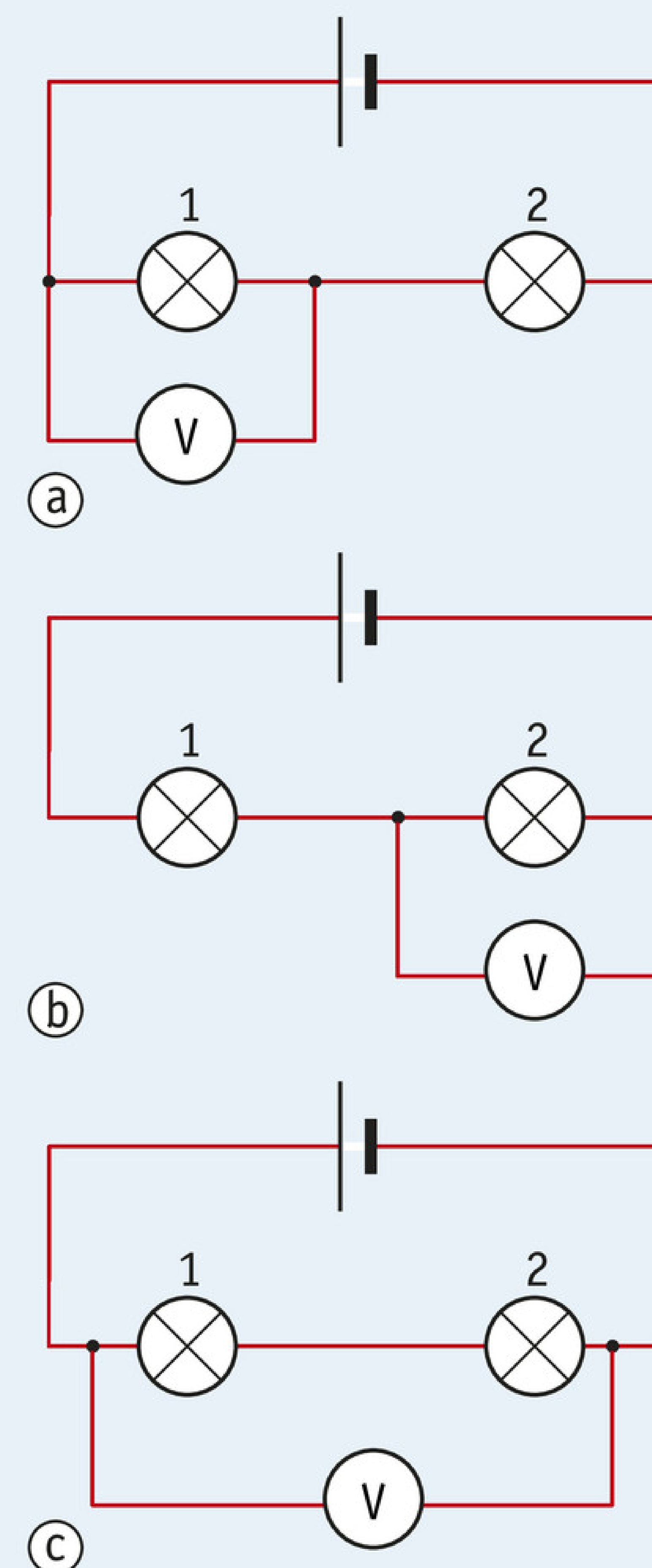
Proef 6 De spanning in een serieschakeling 20 min

Inleiding
Met een spanningsmeter kun je de spanningen in een serieschakeling meten: over elk schakelonderdeel afzonderlijk, en over alle schakelonderdelen samen.

Doel
Je gaat onderzoeken welke regel er geldt voor de spanningen in een serieschakeling.

Nodig
- spanningsbron
- twee lampjes in fittingen
- vijf snoeren
- spanningsmeter

Uitvoeren en uitwerken
De spanning over lampje 1
– Maak de schakeling van figuur 44a.
– Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.
– Lees de spanning af. Gebruik eerst het grootste meetbereik van de spanningsmeter. Schakel daarna, indien mogelijk over op een kleiner meetbereik.



figuur 44 de drie schakelingen van proef 6

1 Neem over en vul in.
De spanning over lampje 1 = ... V.

De spanning over lampje 2

- Maak de schakeling van figuur 44b.
- Lees de spanning af.

2 Neem over en vul in.
De spanning over lampje 2 = ... V.

De spanning over beide lampjes samen

- Maak de schakeling van figuur 44c.
- Lees de spanning af.

3 Neem over en vul in.
De spanning over lampje 1 en 2 samen = ... V.

4 Vergelijk de spanning van de spanningsbron met de spanningen die jij gemeten hebt.
Wat valt je op?

5 Welke regel geldt er voor de spanningen in een serieschakeling?

Proef 7 De stroomsterkte in een parallelschakeling 20 min

Inleiding

Met een stroommeter kun je de stroomsterkte in een parallelschakeling meten. Je kunt de stroom daarbij op verschillende plaatsen meten: in de vertakkingen en in de niet-vertakte delen van de schakeling.

Doel

Je gaat onderzoeken welke regel er geldt voor de stroomsterktes in een parallelschakeling.

Nodig

- spanningsbron
- twee lampjes in fittingen
- zes snoeren
- stroommeter
- schakelaar

Uitvoeren en uitwerken

- In figuur 45 staat een parallelschakeling waarin op vier plaatsen een stroommeter getekend is. Bij deze proef ga je de stroomsterktes op deze vier plaatsen meten.

1 Wat denk je: welk verband bestaat er tussen de stroomsterktes die je op deze vier plaatsen kunt meten?

- Bouw de schakeling van figuur 45. Sluit de stroommeter aan op plaats 1.
- Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.
- Lees de stroomsterkte af. Gebruik eerst het grootste meetbereik van de stroommeter. Schakel daarna indien mogelijk over op een kleiner meetbereik.

2 Hoe groot is de stroomsterkte op plaats 1?

- Verander de schakeling door de stroommeter op plaats 2 aan te sluiten.
- Meet de stroomsterkte op plaats 2 zo nauwkeurig mogelijk.

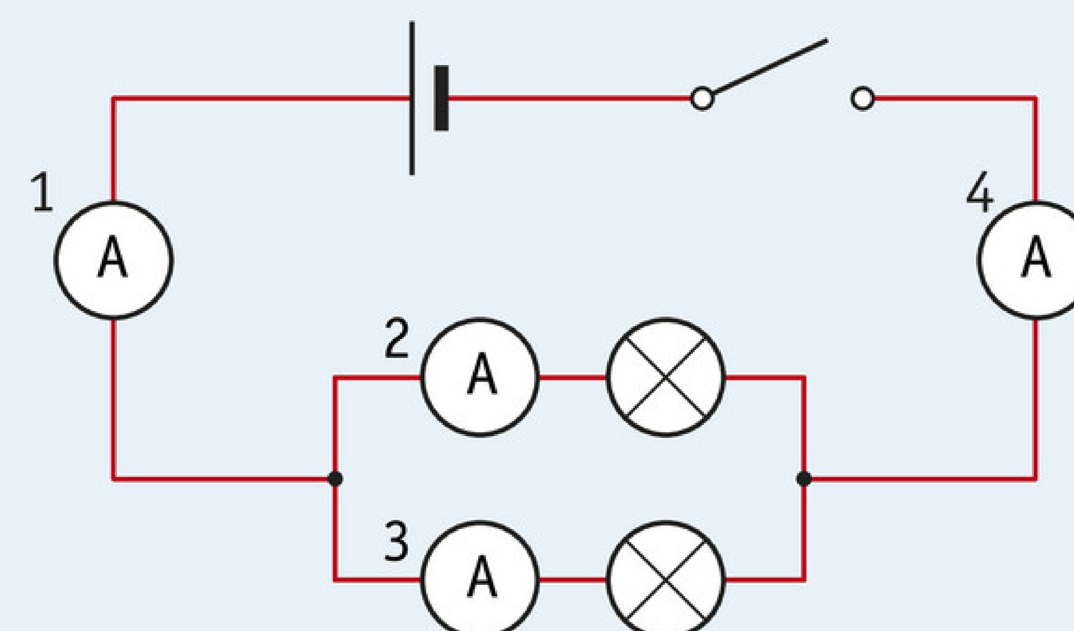
3 Hoe groot is de stroomsterkte op plaats 2?

- Meet vervolgens ook de stroomsterkte op plaats 3 en plaats 4.

4 Hoe groot is de stroomsterkte op plaats 3 en 4?

5 Kijk nog eens naar de voorspellingen die je bij vraag 1 hebt gedaan.
Klopten je voorspellingen?

6 Welke regel geldt er voor de stroomsterktes in een parallelschakeling?



▲ **figuur 45**
de schakeling van proef 7

Proef 8 Een ontwerp maken – de mistlampschakeling 45 min

Inleiding
Stel je voor: in een auto moet een mistlamp gemonteerd worden. Het is de bedoeling dat de mistlamp alleen aangezet kan worden, als de gewone verlichting van de auto al brandt. Jij bent bij deze opdracht de ontwerper die een bruikbare oplossing moet verzinnen.

Doel
Bij deze proef ga je een schakeling bedenken en uittesten voor de autoverlichting, inclusief de mistlamp. Je prototype moet aan de volgende ontwerpeisen voldoen:

Ontwerpeisen
- De schakeling bestaat uit vijf lampjes en twee schakelaars.
- De lampjes 1 en 2 stellen de koplampen voor.
- De lampjes 3 en 4 stellen de achterlichten voor.
- Lampje 5 stelt het mistachterlicht voor.
- De koplampen en de achterlichten kunnen met schakelaar 1 aan- en uitgezet worden.
- Het mistachterlicht kan met schakelaar 2 aangezet worden, maar alleen als de koplampen en de achterlichten branden.

Nodig
Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken
– Bedenk hoe je de opdracht kunt uitvoeren. Wat voor schakeling ga je maken, welke practicumspullen heb je daarvoor nodig, hoe ga je testen of de schakeling goed werkt?

1 Maak een werkplan voor deze opdracht.

– De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
– Bouw de schakeling en probeer hem uit.

2 Maak een testverslag met daarin:
a een schakeling die aan alle ontwerpeisen voldoet;
b de tests die je hebt uitgevoerd, en de resultaten daarvan;
c eventuele veranderingen die je in je schakeling hebt aangebracht.

Test Jezelf

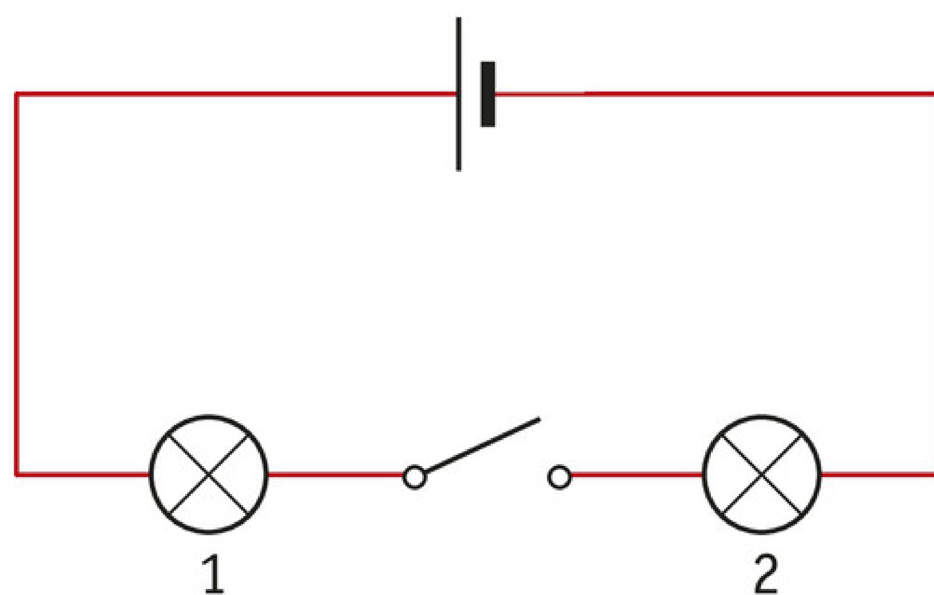
Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.

1 Hieronder staan zeven stoffen.
aluminium – glas – koolstof – koper – pvc – rubber – staal
Maak met deze stoffen twee rijtjes: links de geleiders, rechts de isolatoren.

2 Neem over en vul in.
a 0,125 A = … mA
b 14 mA = … A
c 0,078 A = … mA
d 300 mA = … A
e 0,0082 A = … mA

3 Naomi heeft een stroommeter met drie meetbereiken: 0-50 mA, 0-500 mA en 0-5 A. De stroomsterkte die ze wil meten, ligt in tussen 80 en 120 mA.
Welk meetbereik kan ze daarvoor het beste gebruiken?
A 0-50 mA
B 0-500 mA
C 0-5 A

4 In figuur 46 zie je een schakeling met een batterij, twee lampjes en een schakelaar. De schakelaar staat open.
a Brandt lampje 1?
b Brandt lampje 2?



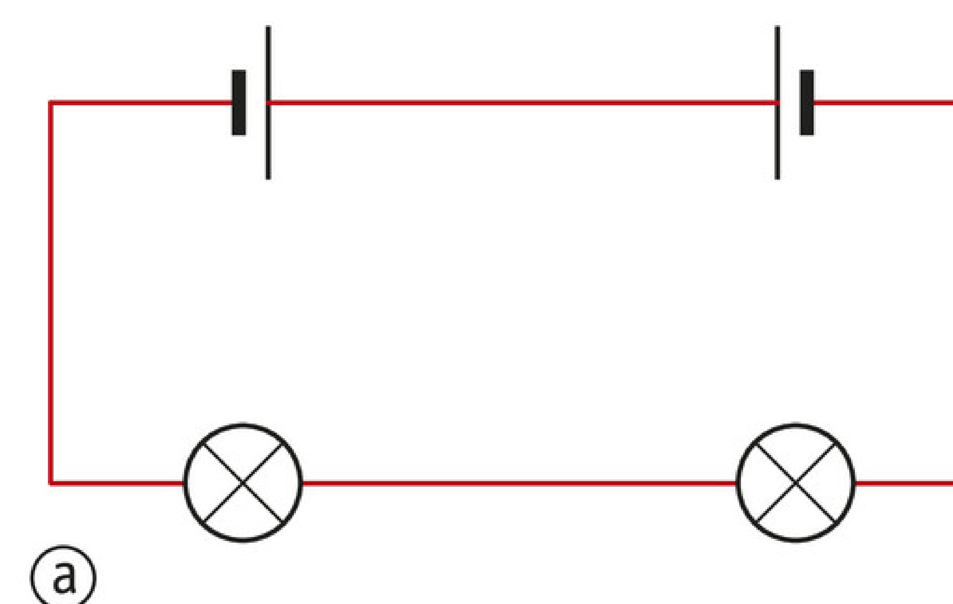
▲ **figuur 46**
een schakeling met twee lampjes

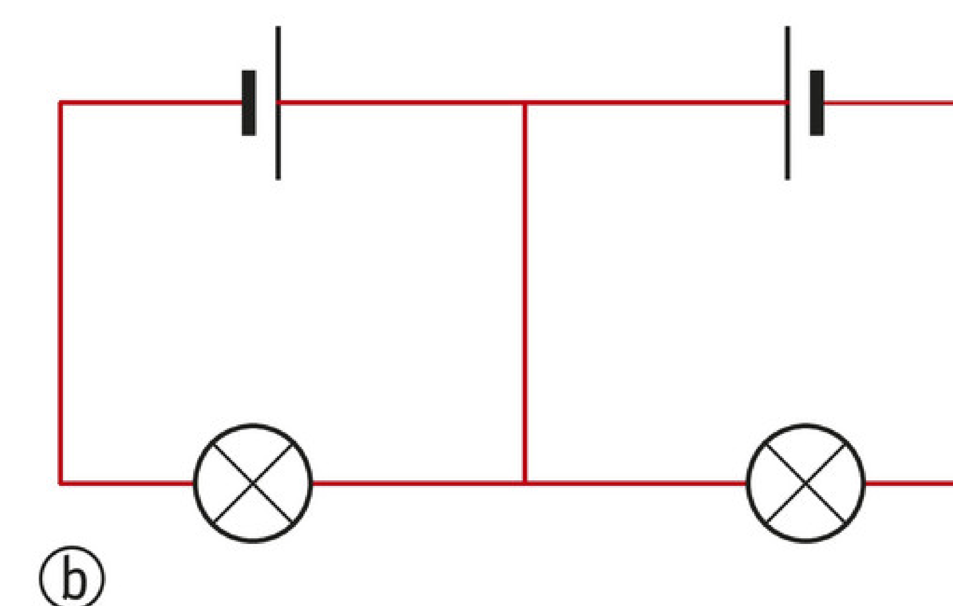
5 In figuur 47 zie je een spanningsmeter.
Lees de waarde van de spanning zo nauwkeurig mogelijk af en noteer deze.



▲ **figuur 47**
Welke spanning geeft deze spanningsmeter aan?

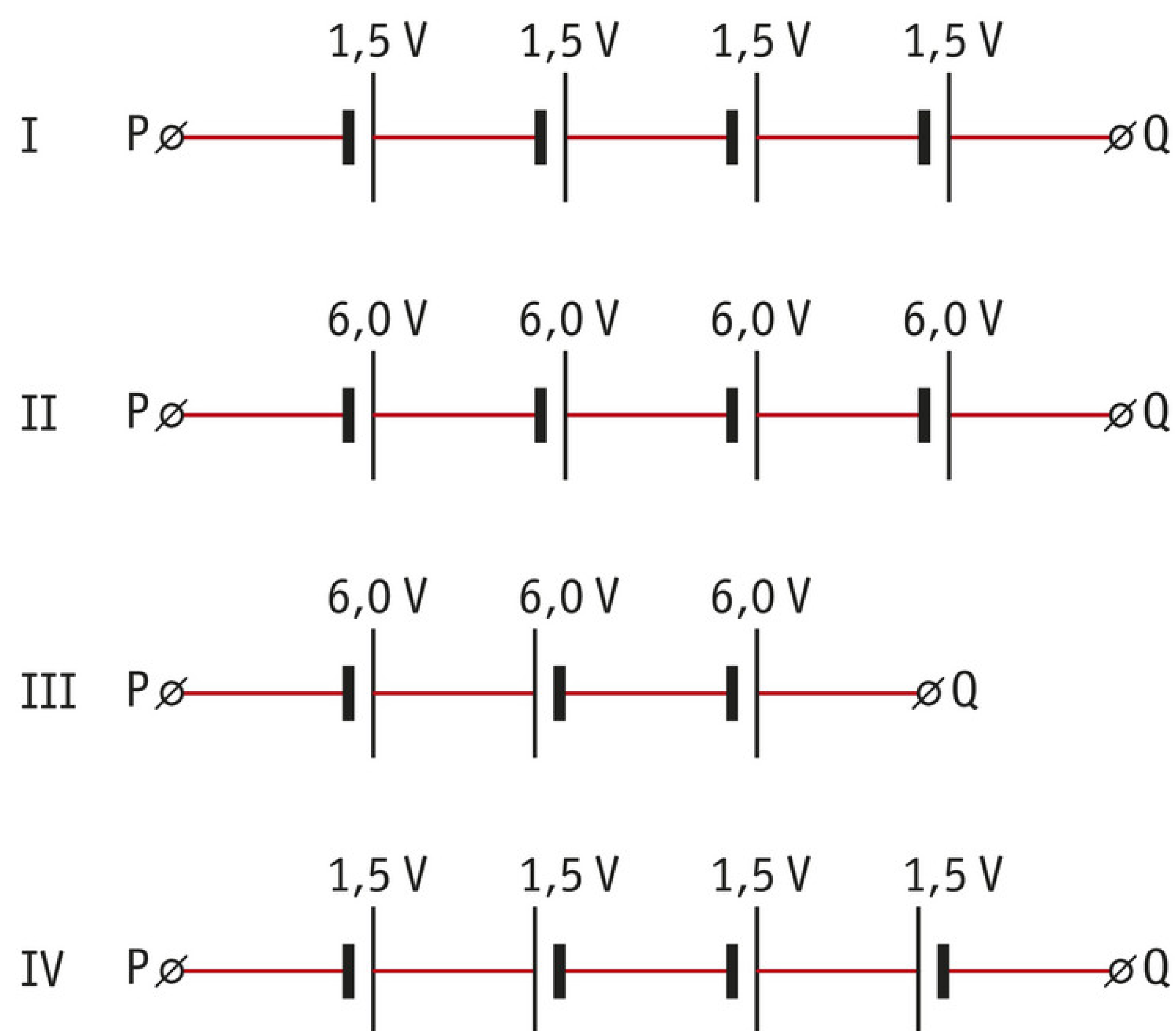
6 Een bepaald type lampje brandt normaal op een spanning van 3,0 V en zwak op een spanning van 1,5 V. Max heeft met twee van die lampjes en twee batterijen van 1,5 V een schakeling gemaakt. Zie figuur 48a.
a Hoe branden de lampjes in figuur 48a: normaal, zwak of helemaal niet?
b Max sluit nog een snoer aan zodat hij de schakeling van figuur 48b krijgt.
Hoe branden de lampjes in figuur 48b: normaal, zwak of helemaal niet?





▲ **figuur 48**
de schakelingen van Max

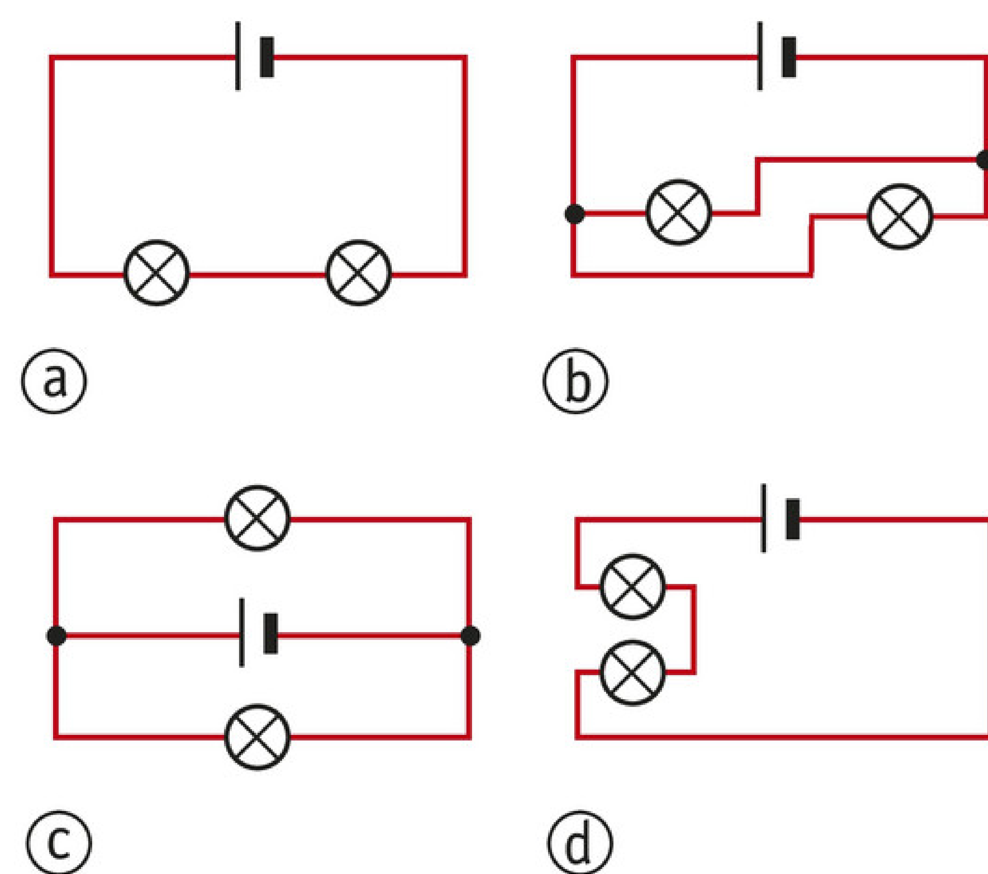
7 In figuur 49 zijn vier manieren getekend om batterijen te schakelen.
In welke schakeling(en) krijg je tussen P en Q een spanning van 6,0 V?



▲ **figuur 49**
batterijen schakelen

8 Om een mobiele telefoon op te laden, gebruik je een adapter die je in het stopcontact steekt.
Wat is een onmisbaar onderdeel van zo'n adapter?
A een accu
B een dynamo
C een generator
D een transformator

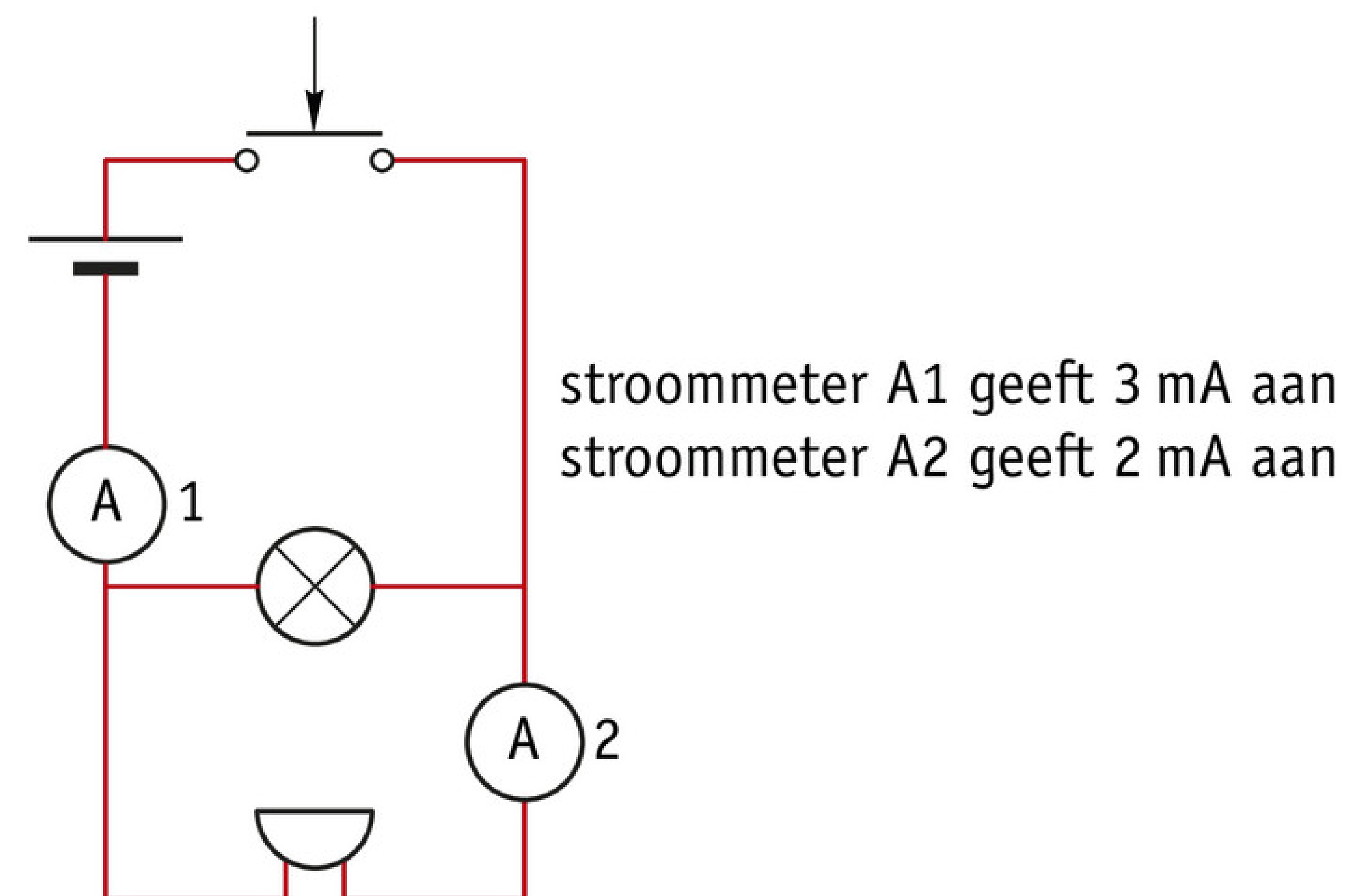
9 In figuur 50 zie je vier schakelingen.
Welke van deze vier schakelingen zijn parallelschakelingen?



▲ **figuur 50**
vier schakelingen

10 Zie figuur 51. Een zoemer en een lampje zijn aangesloten op een batterij. Als de schakelaar wordt ingedrukt, gaat de zoemer geluid maken en gaat er een lampje branden. In de leidingen zijn twee stroommeters opgenomen.

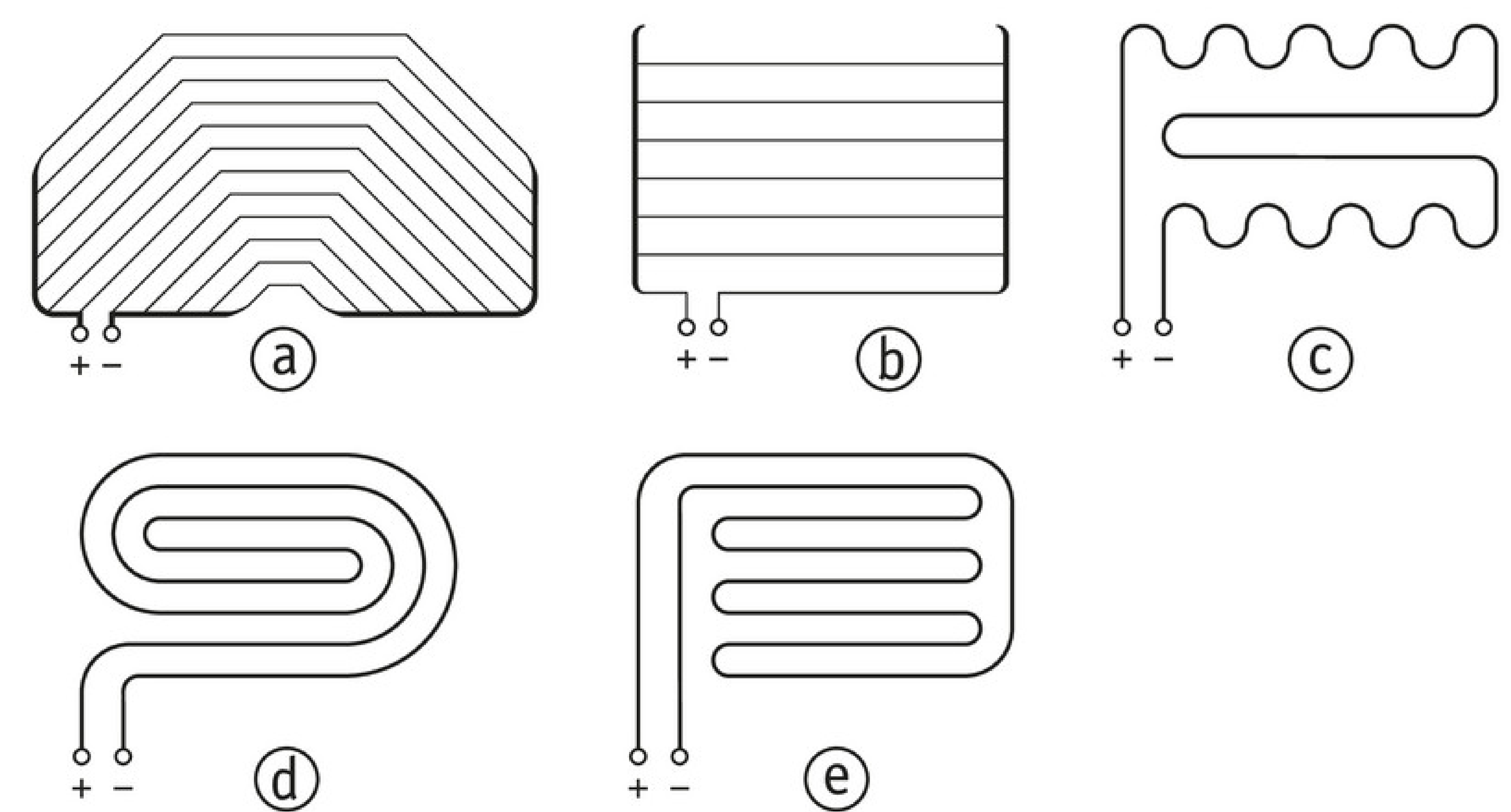
a Hoe groot is de stroomsterkte die door de zoemer gaat?
b Hoe groot is de stroomsterkte die door het lampje gaat?



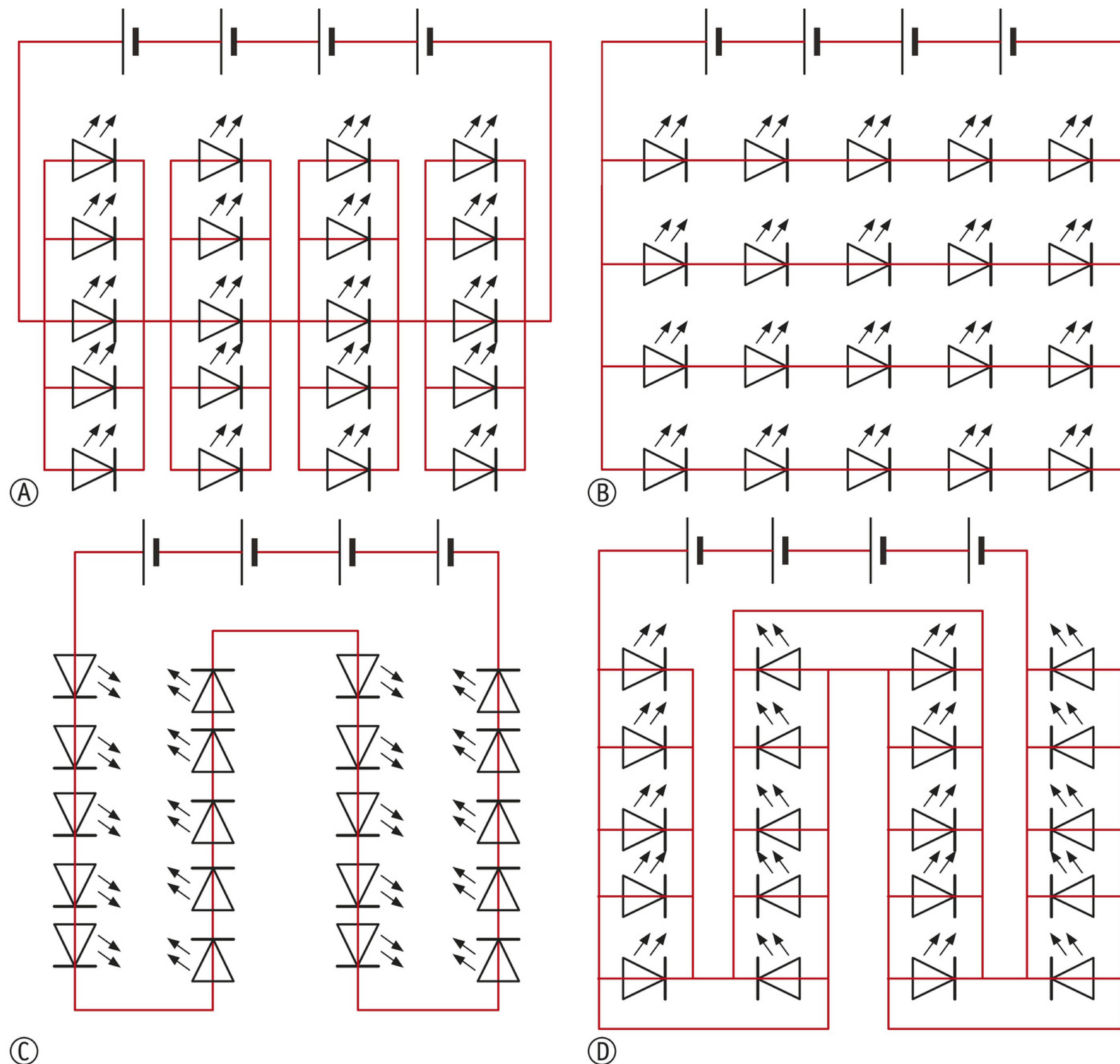
▲ **figuur 51**
lampje en bel

11 De achterruitverwarming van een auto zorgt ervoor dat de achterruit warm wordt, zodat hij niet beslaat. De verwarmingsdraden op de ruit kunnen op verschillende manieren geschakeld zijn. In figuur 52 zie je vijf voorbeelden.

a In welke tekening(en) zijn de verwarmingsdraden in serie geschakeld?
b In welke tekening(en) zijn de verwarmingsdraden parallel geschakeld?
c Bekijk tekening B goed. Door welk stukje verwarmingsdraad loopt de grootste stroom?



▲ **figuur 52**
vijf achterruitverwarmingen

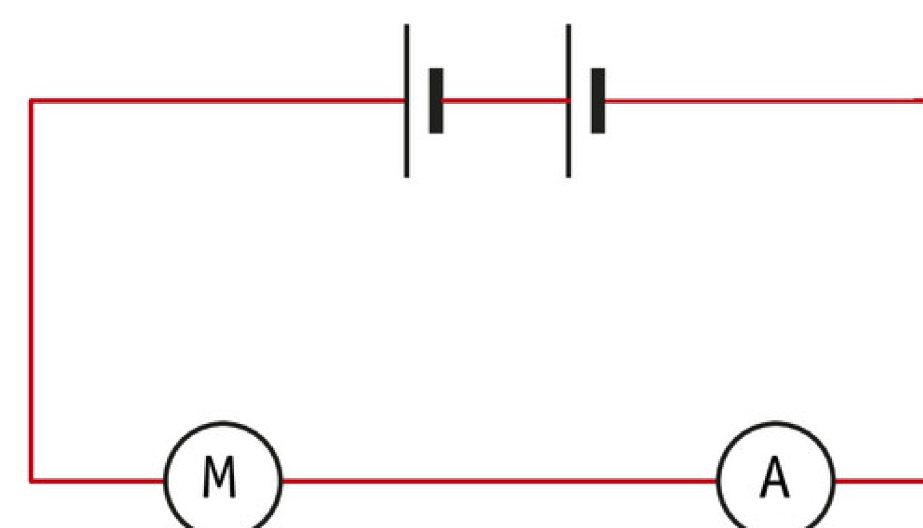


▲ **figuur 53**
vier schakelingen voor een kerstverlichting

12 Bij Niels thuis hebben ze een buitenkerstverlichting met twintig ledlampjes. Als er één lampje kapotgaat, gaat er een rij van vijf ledlampjes uit. De kerstverlichting werkt op vier batterijen.
Welk schema uit figuur 53 zou van deze kerstverlichting kunnen zijn?

13 Op een spaarlamp staat: 230 V/23 W/50 Hz.
- **a** Hoe groot is het vermogen van de lamp als hij op de juiste spanning brandt?
- **b** Hoe groot is de spanning waarop de lamp moet worden aangesloten?

14 Eva maakt een schakeling met een elektromotortje (figuur 54). Als spanningsbron gebruikt ze twee batterijen van elk 1,5 V. Na het inschakelen van de stroom geeft de stroommeter 20 mA aan.
Bereken het vermogen van de motor.



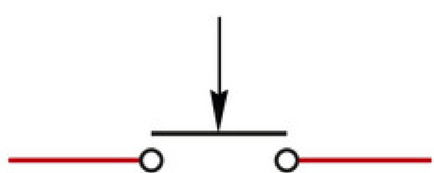
▲ **figuur 54**
de schakeling van Eva

15 Op de verpakking van een autolampje staat: 12 volt/5 watt.
Bereken hoe groot de stroomsterkte door de lamp is, als hij wordt aangesloten op een spanning van 12 V.

16 Noteer of de volgende uitspraken waar (W) zijn of onwaar (O).
- **a** Alle metalen geleiden elektrische stroom, maar het ene metaal geleidt beter dan het andere.
- **b** Met een transformator kun je de netspanning omzetten in een veilige lage spanning.
- **c** Als je de stroomsterkte meet in een parallelschakeling, merk je dat die overal even groot is.
- **d** Hoe kleiner het vermogen van een mobiele telefoon, des te sneller zal de batterij weer leeg zijn.

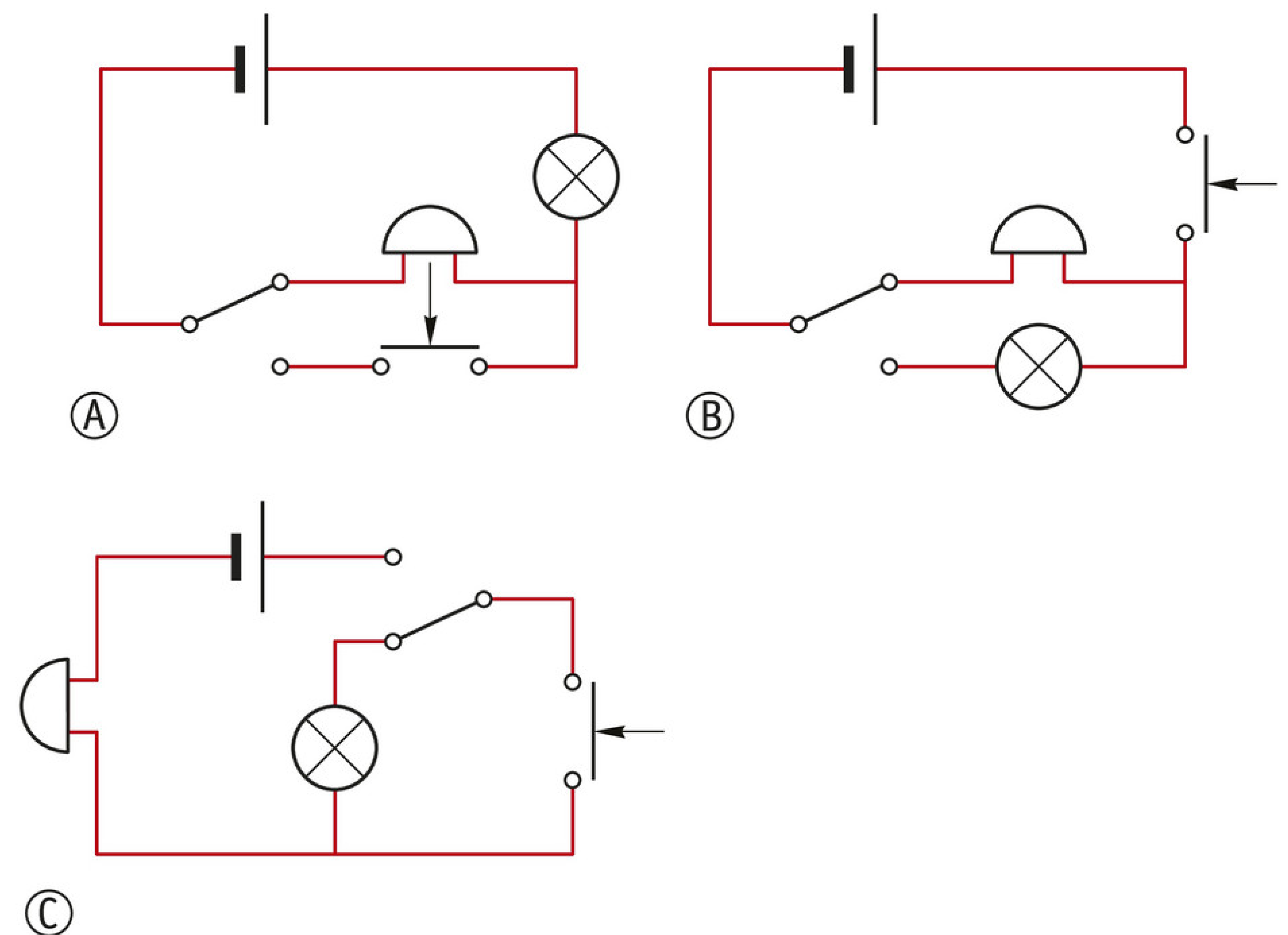
17 Teken het schakelsymbool van:
- **a** een batterij
- **b** een elektrische bel
- **c** een elektromotor
- **d** een schakelaar (open)
- **e** een stroommeter

18 Theo heeft niet graag dat iemand onverwacht zijn kamer binnenkomt. Daarom heeft hij een aparte bel voor zijn kamer gemaakt. Vanaf de belknop lopen draden naar een batterij en een bel.
- **a** Teken het schema van deze schakeling. In figuur 55 zie je hoe het schakelsymbool voor de belknop (een drukschakelaar) eruitziet.



▲ **figuur 55**
het schakelsymbool van een drukschakelaar

- **b** Theo heeft een klein zusje dat 's middags slaapt. Dan mag de bel niet gaan. Hij verandert de schakeling zodanig dat er in plaats van de bel een lampje kan worden ingeschakeld. Hij gebruikt daarvoor een wisselschakelaar. Theo heeft de schakeling zo gemaakt dat in de ene stand de bel is aangesloten en in de andere stand het lampje.
- **c** In welk van de schema's in figuur 56 is Theo's schakeling juist getekend: A, B of C?



▲ **figuur 56**
Welke schakeling is van Theo?

19 Voor deze opgave heb je werkblad 5-2 nodig. Op het werkblad zie je een tekening van de Olympische sport schermen. Interessant is het elektrisch waarnemingssysteem. Aan de lampen kun je zien of er een treffer is geweest. De schermers zijn met elektriciteitsdraden aan de apparatuur verbonden.
- **a** Ontwerp zelf een waarnemingssysteem. In dit systeem moet lampje A even aangaan als de ene schermer wordt getroffen, en lampje B even aangaan als de andere schermer wordt getroffen. Je hebt twee spanningsbronnen tot je beschikking.
  Bedenk van tevoren:
  - van welk materiaal de degens en jacks van de schermers moeten zijn gemaakt;
  - hoeveel draden de verbindingskabel moet bevatten en hoe ze moeten worden aangesloten.
- **b** Teken je schakelschema in de tekening op het werkblad.

20 Het scherm van een mobiele telefoon gaat uit als je de telefoon eventjes niet gebruikt.
- **a** Leg uit wat er dan gebeurt met het vermogen dat het mobieltje gebruikt.
- **b** Leg uit waarom het in jouw belang is dat het scherm wordt uitgezet.

Wedstrijd op zonne-energie



Het is de vijfde dag van de World Solar Challenge. De zonneauto van het Nuon Solar Team uit Delft ligt op een comfortabele tweede plaats. Dan dreigt, als de finish al bijna in zicht komt, het noodlot toe te slaan. “Die laatste brug hadden we niet voorspeld,” vertelt Mike Hoogstraten, de technisch manager van het team, “en de accu was zo goed als leeg!” In zo’n situatie kun je als coureur maar een ding doen: snelheid terugnemen en duimen dat je niet helemaal stil komt te staan ...



Elke twee jaar verzamelen zich enkele tientallen teams voor de *World Solar Challenge*, een race voor zonneauto's door de Australische *outback*. Het parcours loopt van Darwin in het noorden naar Adelaide in het zuiden, over een afstand van meer dan 3000 km. Vooral voor de coureurs is de race flink afzien. Ze zitten vijf of zes dagen opgesloten in een piepkleine cabine waarin de temperatuur kan oplopen tot wel 50 °C.

Op 16 oktober ging er weer een aflevering van start. Dit jaar deden er twee Nederlandse teams mee: het *Nuon Solar Team* van de Universiteit in Delft en het *Solar Team Twente* van de Universiteit in Twente. Vooral voor het team uit Delft was de uitdaging groot: de *World Solar Challenge* werd al vier keer gewonnen door een team uit Delft. De verwachtingen waren daarom hooggespannen.

"Australië is wel een zonnig land, maar de zon schijnt niet altijd."

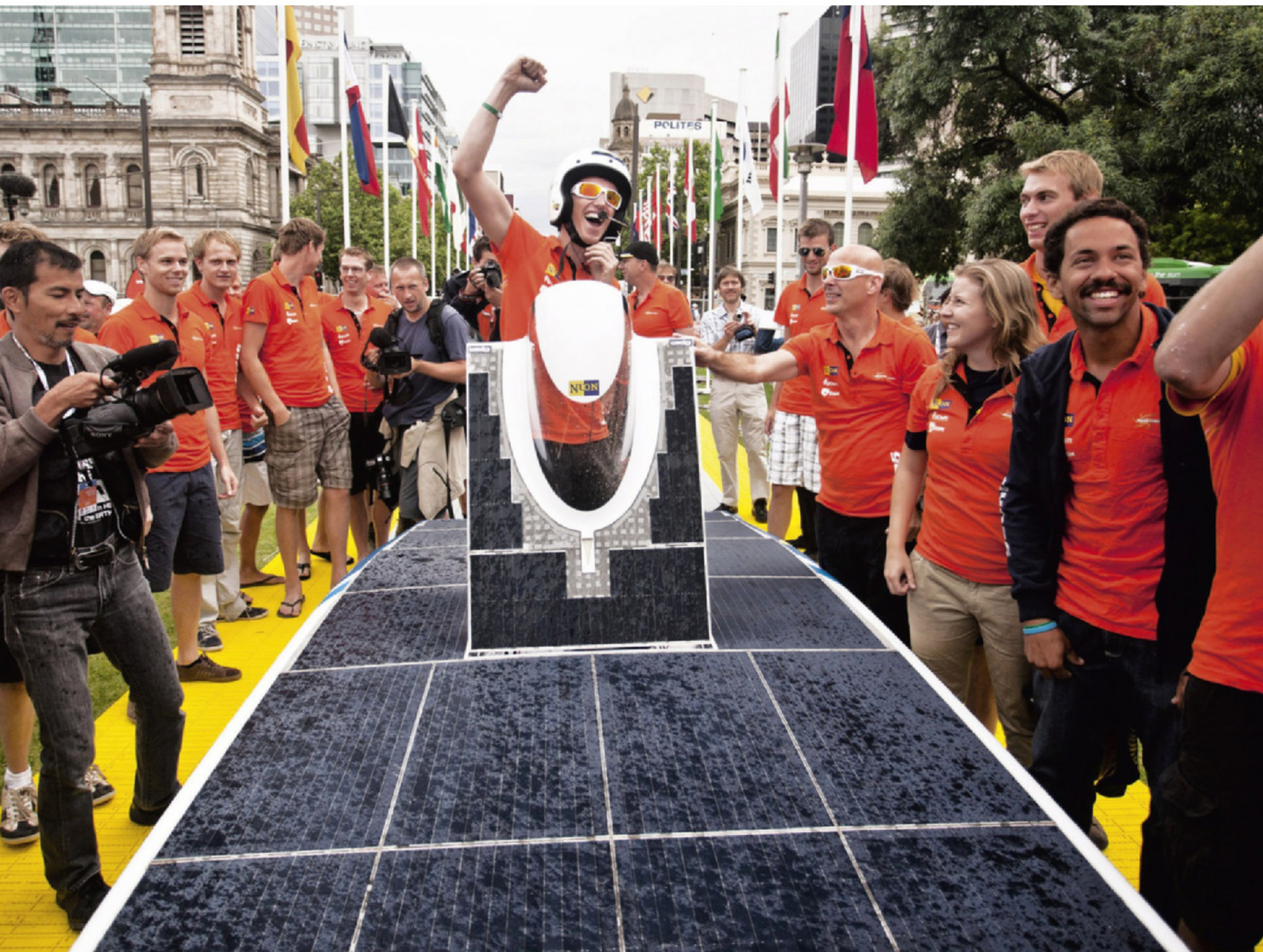
Rijden op zonlicht

De wagentjes die aan de *World Solar Challenge* meedoen, rijden voor 100% op zonne-energie. De *Nuna6* van het *Nuon Solar Team* heeft daarvoor 1690 op maat gesneden siliciumcellen, met een totale oppervlakte van 6 m^2. Als de zon flink schijnt, is dat ruim voldoende voor een snelheid van 110 km/h. Sneller mogen de wagentjes niet: ze moeten zich net als het overige verkeer aan de Australische maximumsnelheid houden.

Bij zonnig weer produceren de zonnecellen meestal meer elektrische energie dan er op dat moment nodig is. Die energie gaat niet verloren: het overschot wordt tijdelijk opgeslagen in accu's. Dat is handig als er later op de dag een tekort aan energie ontstaat, bijvoorbeeld doordat er opeens bewolking voor de zon schuift. Dan wordt de opgeslagen energie uit de accu's gehaald en gebruikt om de zonneauto aan te drijven.

Opladen en ontladen

De accu's spelen ook een belangrijke rol bij de start. Om snel op te kunnen trekken, is veel vermogen nodig, oftewel veel energie in weinig tijd. Automobilisten kunnen daarover



meepraten: snel wegscheuren slorpt benzine. Voor een zonneauto geldt hetzelfde (als je benzine vervangt door elektrische energie). Omdat de zonnecellen maar een beperkt vermogen kunnen leveren, moeten de accu's flink bijspringen voor een snelle start.

De accu's worden daarom 's ochtends voor de start opgeladen met behulp van de zonnecellen. Ook tijdens stops proberen de deelnemers om hun accu's maximaal op te laden. Daarom zetten ze hun voertuig schuin neer, om zoveel mogelijk zonlicht op te vangen. Hoe meer elektrische energie ze in hun accu's kunnen opslaan, des te groter zijn hun kansen in de race.

Het voortdurend opladen en ontladen van de accu's is niet zonder risico's. Bij een van de deelnemende teams ontstond er dit jaar zelfs brand in de accu's.

Veel zonneauto's zijn daarom voorzien van een speciaal 'Battery Management System', dat continu de lading van de accu's in de gaten houdt. Het systeem zorgt ervoor dat de accu's niet overladen worden of juist te ver ontladen, want in beide gevallen kunnen ze in brand vliegen.

Strategisch rijden

Een slim ontworpen zonneauto is geen garantie dat je de race ook wint. Daarvoor moet je ook slim rijden. Als het weer niet erg zonnig is, kun je niet de hele tijd op topsnelheid rijden. Dan raken de accu's al ver voor de finish uitgeput. Te langzaam rijden is natuurlijk ook geen goed idee. Je wilt de energie die in de accu's zit, zo volledig mogelijk benutten.

De succesvolle teams volgen daarom een uitgekiende strategie. In de volgauto die achter de zonneauto aanrijdt, wordt daar constant aan gewerkt. De teamleden krijgen gegevens door van de elektronica in de zonneauto over de energieproductie van de zonnecellen en de ladingstoestand van de accu's. Ook volgen ze het weerbericht op de voet. Al die gegevens gebruiken ze om de optimale snelheid voor de zonneauto te berekenen. Die wordt vervolgens doorgegeven aan de coureur.

Zo heeft het *Solar Team Twente* er al vanaf de eerste dag rekening mee gehouden dat het aan het einde van de race bewolkt kan zijn. "Maar aangezien ze de laatste dag ook bewolking en zelfs regen verwachten, kunnen we dan alleen maar op de accu rijden. En die

Pech voor Umicore

Het Umicore Solar Team uit België had afgelopen vrijdag flinke tegenslag in de World Solar Challenge. Het team lag op een verdienstelijke vierde plaats, toen er op circa 200 km van de finish brand ontstond in de accu's. De coureur en enkele teamleden die rook inademden werden naar het ziekenhuis gebracht voor controle, maar mochten dit snel weer verlaten. Na een spoedreparatie kon er zaterdag verder worden gereden met de reserve-accu's.



energie moet nu worden gespaard. Australië is wel een zonnig land, maar de zon schijnt niet altijd," schrijft Helga van Leur, die als meteorologe met het Twentse team meereisde, in haar blog.

Finish

Het team van Twente eindigde uiteindelijk als vijfde. Winnaar werd een team van de Tokai Universiteit in Japan, een uur voor het *Nuon Solar Team* uit Delft. Door koelbloedig optreden van coureur Javier Sint Jago wisten de Delftenaren hun tweede plaats vast te houden, ook bij die onverwachte laatste brug. "Alles werd helemaal rood in het schermpje," zegt Javier over dat spannende moment in de race. "Dus ik dacht: O nee, minder gas!" De *Nuna6* kroop tegen de brug op en ging uiteindelijk over de finishstreep met een lege accu.

Een tweede en een vijfde plaats zijn natuurlijk prima prestaties, maar het kan altijd beter. Er zijn in Delft en in Twente vast genoeg enthousiaste studenten te vinden om van de volgende *World Solar Challenge* weer een spannend hightech evenement te maken.

Opgaven

1 Tijdens stops worden de zonneauto's vaak schuin neergezet.
- **a** In welke richting moet de coureur de zonneauto dan kantelen?
- **b** Hoe komt het dat de accu's in die stand sneller worden opgeladen?

2 Leg uit waarom de accu's van een zonneauto worden bijgeschakeld:
- **a** als de zon achter de wolken verdwijnt;
- **b** als de zonneauto tegen een helling oprijdt;
- **c** als de coureur een andere auto gaat inhalen.

3 Javier Sint Jago vertelde dat hij bij de laatste brug meteen gas terugnam.
Leg uit:
- **a** wat de coureur precies bedoelde met 'gas terugnemen';
- **b** waarom het nodig was dat hij op die manier ingreep.

***4** Stel je voor: in het elektrisch systeem van een zonneauto zitten drie schakelaars:
- schakelaar 1: tussen de zonnepanelen en de accu's;
- schakelaar 2: tussen de zonnepanelen en de motor;
- schakelaar 3: tussen de accu's en de motor.

Welke schakelaars staan open (AAN) en welke dicht (UIT):
- **a** als de accu's voor een wedstrijd zo ver mogelijk worden opgeladen?
- **b** als de auto tijdens de wedstrijd snel tegen een helling omhoog rijdt?
- **c** als de auto bij mooi weer met 110 km/h over een vlakke weg rijdt?

Noot:
In 2013 won Delft voor de vijfde keer de *World Solar Challenge*.


NOLAN
FPS-RACING.COM.UA
92

6 Bewegen

Sport en verkeer

In de sport en in het verkeer draait alles om beweging. Daarom zijn er allerlei technieken ontwikkeld om bewegingen vast te leggen, te analyseren en te beschrijven. De resultaten worden gebruikt om het verkeer veiliger te maken en om sportprestaties te verbeteren.

1 Bewegingen vastleggen

Veel bewegingen verlopen zo snel dat je ze met het blote oog niet goed kunt volgen. Maar soms willen mensen toch graag weten hoe zo'n beweging verloopt. Hoogspringers en turners kunnen die informatie bijvoorbeeld gebruiken om hun prestaties te verbeteren. Daarom zijn er verschillende manieren bedacht om bewegingen vast te leggen en te analyseren.

Bewegingen filmen

Je kunt een beweging vastleggen door het bewegende voorwerp te filmen met een videocamera. In de camera wordt dan een **video-opname** opgeslagen: een serie beelden die met korte tussenpozen zijn gemaakt (figuur 1). Veel videocamera's maken opnames van dertig beelden per seconde. De tijd tussen twee opeenvolgende beelden is 1/30 s (≈ 33 ms).



▲ **figuur 1**
een serie beelden uit een video-opname

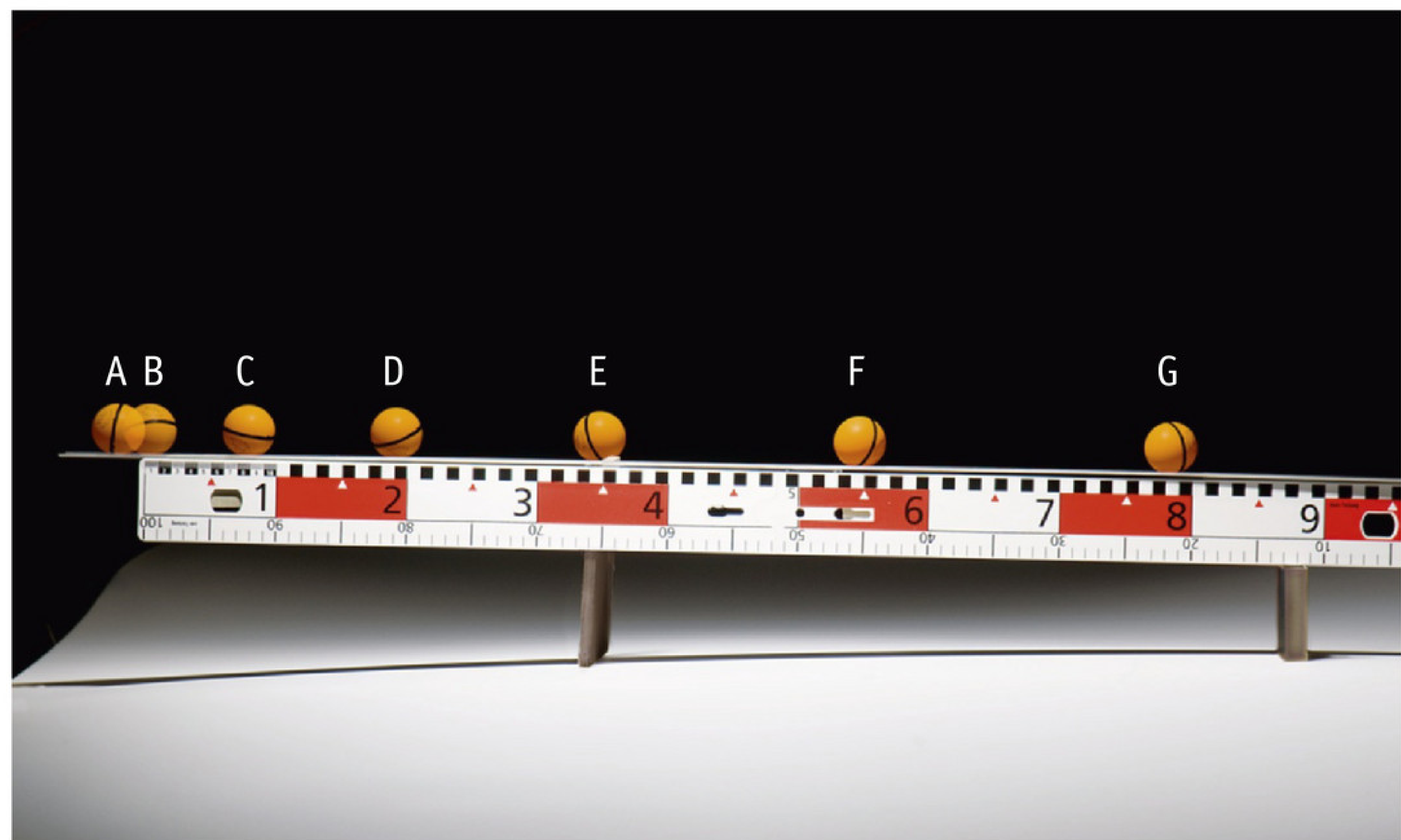
Er zijn computerprogramma's waarmee je een video-opname beeld voor beeld kunt analyseren. Vaak biedt zo'n programma de mogelijkheid een voorwerp 'aan te klikken' waarvan je de beweging wilt volgen. Het programma verzamelt dan gegevens over de plaats en de snelheid van het voorwerp, en presenteert die in een tabel of een grafiek.

Je kunt niet elke video-opname zo analyseren. Voor een goed resultaat heb je een opname nodig waarbij het voorwerp voor een stilstaande camera langs beweegt. Ook moet er op de opname een meetlat te zien zijn of een ander voorwerp waarvan je de afmetingen kent; daarmee kun je aangeven wat de **schaal** is van het beeld. Ten slotte moet je weten uit hoeveel beelden per seconde de opname bestaat.

Stroboscopische foto's maken Proef 1

Je kunt een beweging ook vastleggen door een **stroboscopische foto** te maken. Zo'n foto maak je in een verduisterde ruimte, met als enige verlichting een stroboscooplamp. Dat is een lamp die met regelmatige tussenpozen een korte lichtflits geeft. Met een knop op de lamp kun je de tijd tussen twee lichtflitsen instellen.

Tijdens de beweging blijft de sluiter van het fototoestel openstaan. Elke keer dat de lamp een lichtflits geeft, wordt een momentopname van de beweging vastgelegd. Alle momentopnames komen samen op één foto terecht. In figuur 2 zie je een voorbeeld. Je kunt eenvoudig aflezen op welke plaats het voorwerp zich op ieder moment bevindt.



▶ **figuur 2**
een stroboscopische foto van een rollende bal

Een video-opname van een beweging bestaat uit een hele serie beelden. Je kunt de opname met een computerprogramma bewerken tot één gecombineerd beeld. Op die manier krijg je ook een soort stroboscopische foto. In figuur 3 zie je een voorbeeld.



▶ **figuur 3**
een 'stroboscopische foto' op basis van een video-opname

Een plaats-tijdtabel invullen Proef 2

Om een rechtlijnige beweging te analyseren, is het vaak een goed idee om een **plaats-tijdtabel** te maken. De gegevens voor zo'n tabel haal je uit een video-opname of een stroboscopische foto. Je moet dan wel weten:
- met welke tussenpozen de momentopnames zijn gemaakt;
- hoe groot de afstanden op de beelden in werkelijkheid zijn.

Bij de beweging in figuur 2 is de tijdsduur tussen twee opeenvolgende lichtflitsen 0,5 s. De plaats van de bal kun je aflezen op de meetlat. Daarbij kijk je steeds naar de rechterkant van de bal, omdat de bal naar rechts beweegt.

Nu je dit weet, kun je de plaats-tijdtabel gaan invullen.
- De beweging begint bij A. De rechterkant van de bal valt precies samen met de 0 op de meetlat. Dus zet je in tabel 1 bij punt A: tijd = 0 s en plaats = 0 cm.
- Vervolgens lees je af waar de bal is bij B: 3 cm. Je noteert in de tabel bij punt B: tijd = 0,5 s en plaats = 3 cm.
- Daarna lees je af waar de bal is bij C: 10 cm. Dus bij punt C komt te staan: tijd = 1,0 s en plaats = 10 cm.

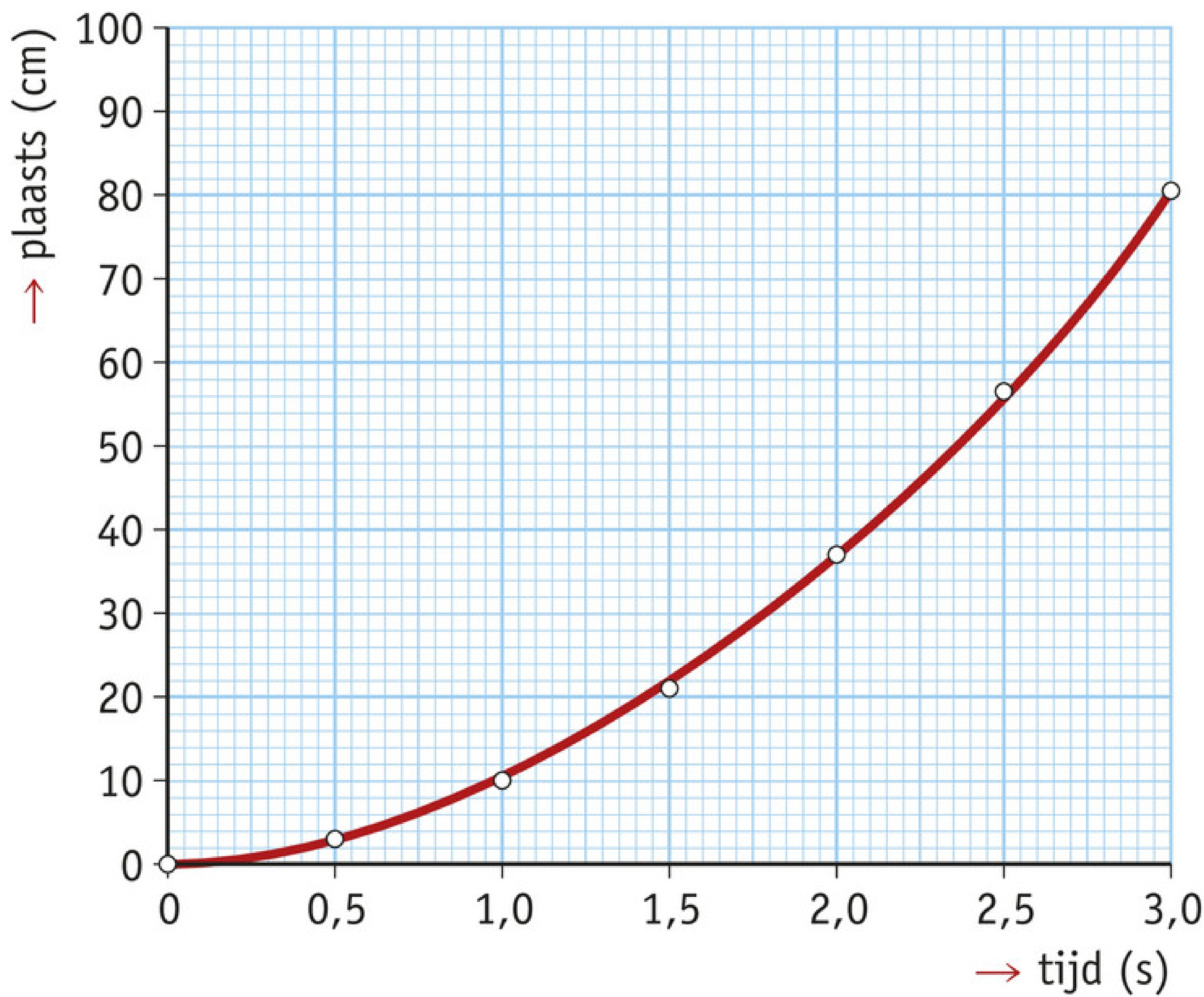
Ga zelf na hoe tabel 1 verder moet worden ingevuld.

▼ **tabel 1** een plaats-tijdtabel

	tijd (s)	plaats (cm)
A	0	0
B	0,5	3
C	1,0	10
D	1,5	
E		
F		

Een plaats-tijddiagram tekenen

Met de gegevens in een plaats-tijdtabel kun je een grafiek van de beweging tekenen. Zo'n grafiek wordt een **plaats-tijddiagram** of (x,t)-diagram genoemd. De letter x staat hier voor plaats en de letter t voor tijd. In figuur 4 is het (x,t)-diagram getekend van de beweging in figuur 2. Uit een (x,t)-diagram kun je bij elk tijdstip de bijbehorende plaats aflezen, en omgekeerd.

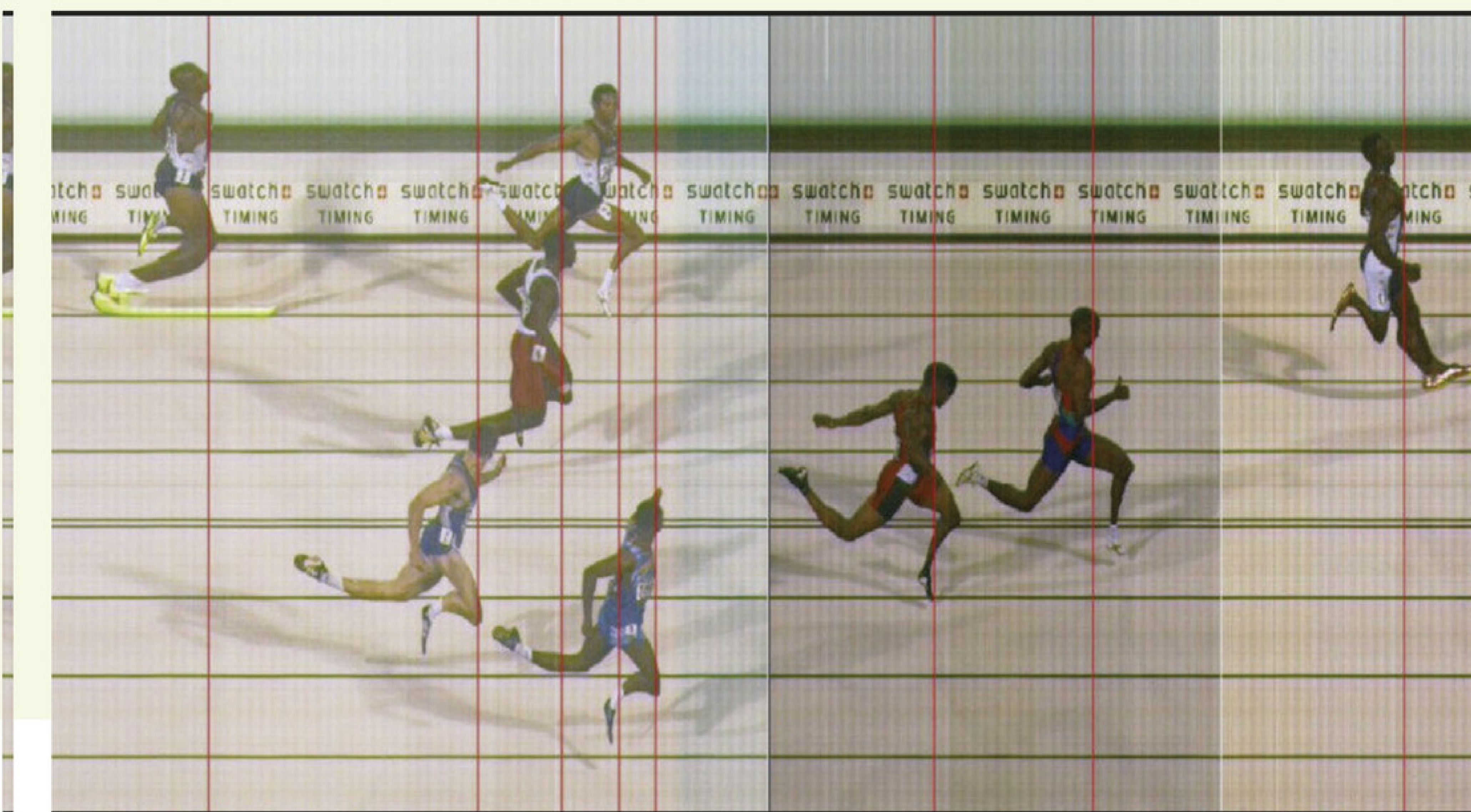


▶ **figuur 4**
het (x,t)-diagram van de rollende bal

Plus Finishfoto's

Bij de 100 meter hardlopen komen de atleten vaak bijna gelijktijdig over de finish. Soms heeft de jury een finishfoto nodig om erachter te komen wie de winnaar was. Op zo'n foto kun je duidelijk zien in welke volgorde de atleten de finishlijn zijn gepasseerd.

Een finishfoto wordt gemaakt met een speciale camera. Voor de lens van die camera zit een scherm met een verticale spleet. Door die spleet is een smalle strook van de baan te zien, ter hoogte van de finishlijn. Als je één opname met de camera maakt, krijg je een smalle foto waar alleen de 'finishstrook' op staat (figuur 5).



▼ **figuur 5**
Een finishfoto bestaat uit een serie opnames naast elkaar. Links zie je één losse opname, rechts de hele finishfoto.

Een moderne camera voor finishfoto's kan duizenden opnames per seconde maken. Elke opname is maar één pixel breed. Een finishfoto bestaat uit een hele serie van die opnames naast elkaar. Samen vormen deze opnames de finishfoto. Rechts zie je de atleet die als eerste op de finish was, en links de atleet die als laatste op de finish was.

opgaven

Leerstof

1 Beantwoord de volgende vragen
- **a** Hoe kun je een snelle beweging vastleggen? Noteer twee manieren.
- **b** Hoe noem je een lamp die met vaste tussenpozen een lichtflits geeft?
- **c** Hoe noem je een foto die met behulp van zo'n lamp gemaakt wordt?
- **d** Wat wordt bedoeld met 'het (x,t)-diagram van een beweging'?

2 Rolanda heeft een video-opname gemaakt van een vallende basketbal. Nu wil ze een plaats-tijdtabel van deze beweging maken.
Welke twee dingen moet ze eerst nagaan, voordat ze de tabel kan invullen?

Toepassing

3 Peter werkt met een programma voor het analyseren van videobeelden. Hij wil het programma een (x,t)-diagram laten tekenen van een optrekkende auto. Zijn docent waarschuwt hem dat hij daarvoor niet zomaar elke video-opname kan gebruiken: "De camera moet tijdens de opname stilstaan."
Wat gaat er fout, als de camera wel met de auto mee beweegt?

4 In figuur 6 zie je twee foto's. Bij het nemen van beide foto's bleef de sluiter van het fototoestel tijdens de opslag openstaan.

a Bij welke foto werd de tafeltennisspeler verlicht door een gewone lamp? Waaraan zie je dat?

b Bij welke foto werd de tafeltennisspeler verlicht door een stroboscoop-lamp? Waaraan zie je dat?



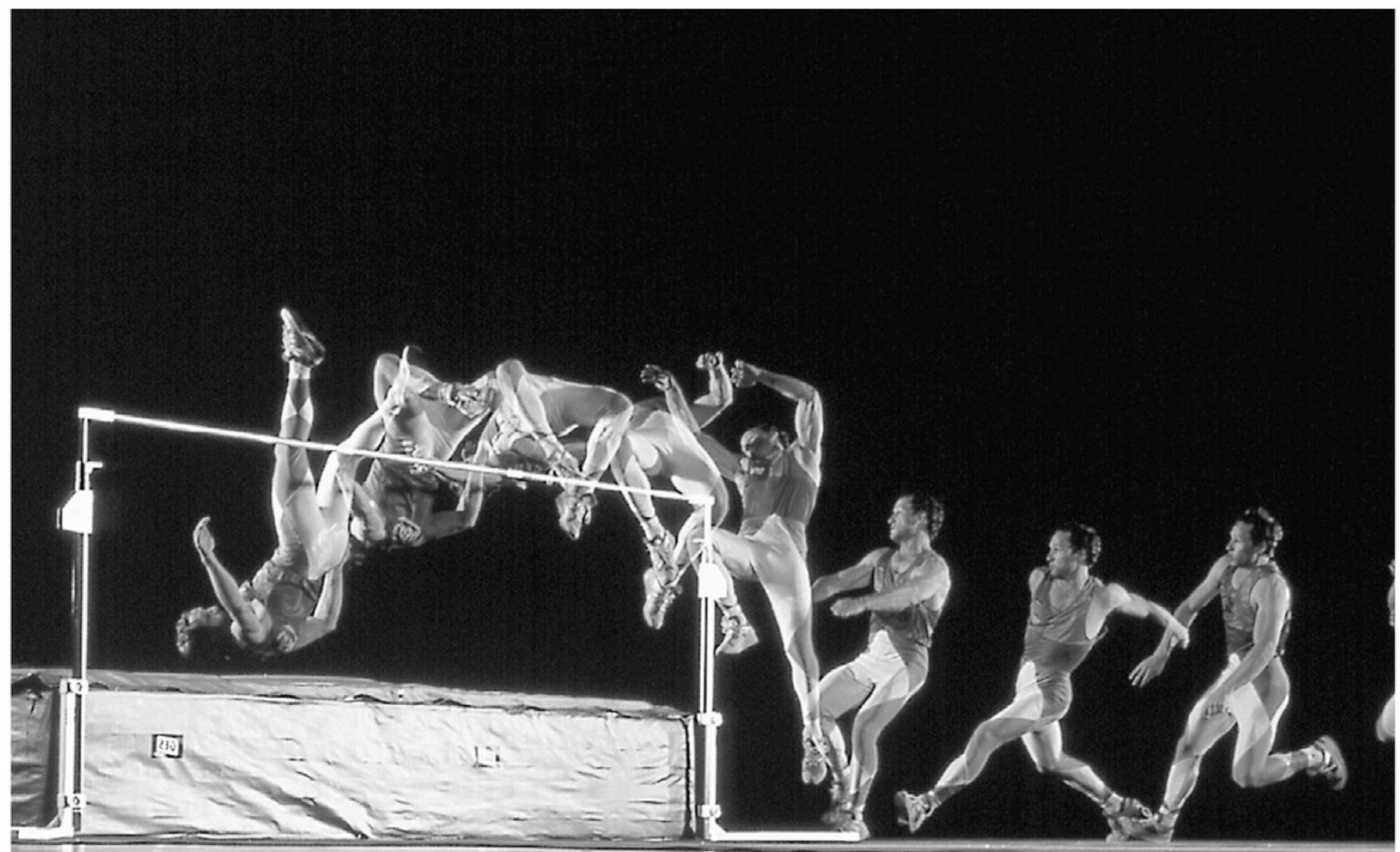


▶ **figuur 6**
gewone lamp of stroboscooplamp?

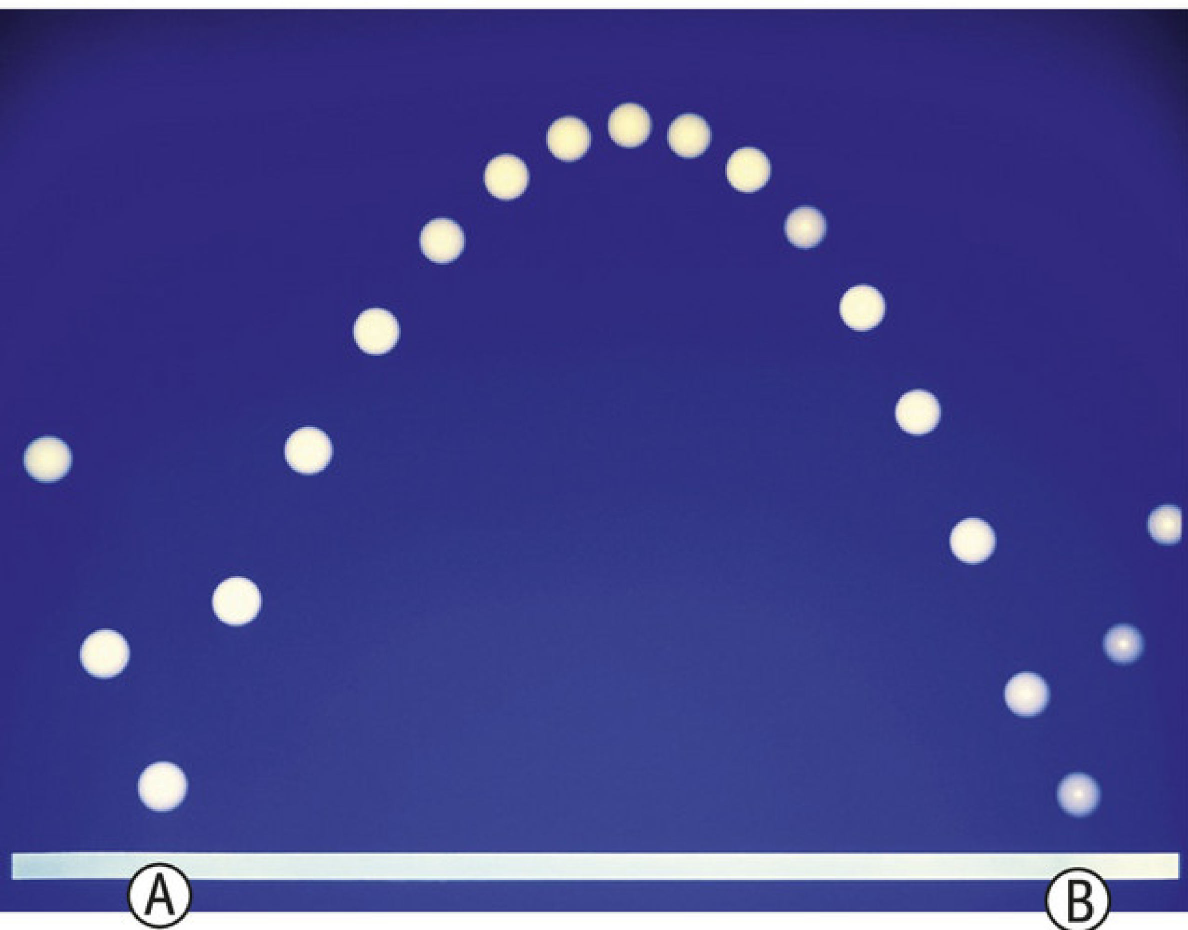
5 De foto in figuur 7 is gemaakt met een stroboscooplamp.

A Hoeveel keer heeft de lamp geflitst tijdens de sprong?

B De tijdsduur tussen twee lichtflitsen is 0,15 s.
Hoeveel tijd heeft de hele beweging geduurd (van het eerste tot het laatste vastgelegde moment)?



▶ **figuur 7**
de beweging van een hoogspringer



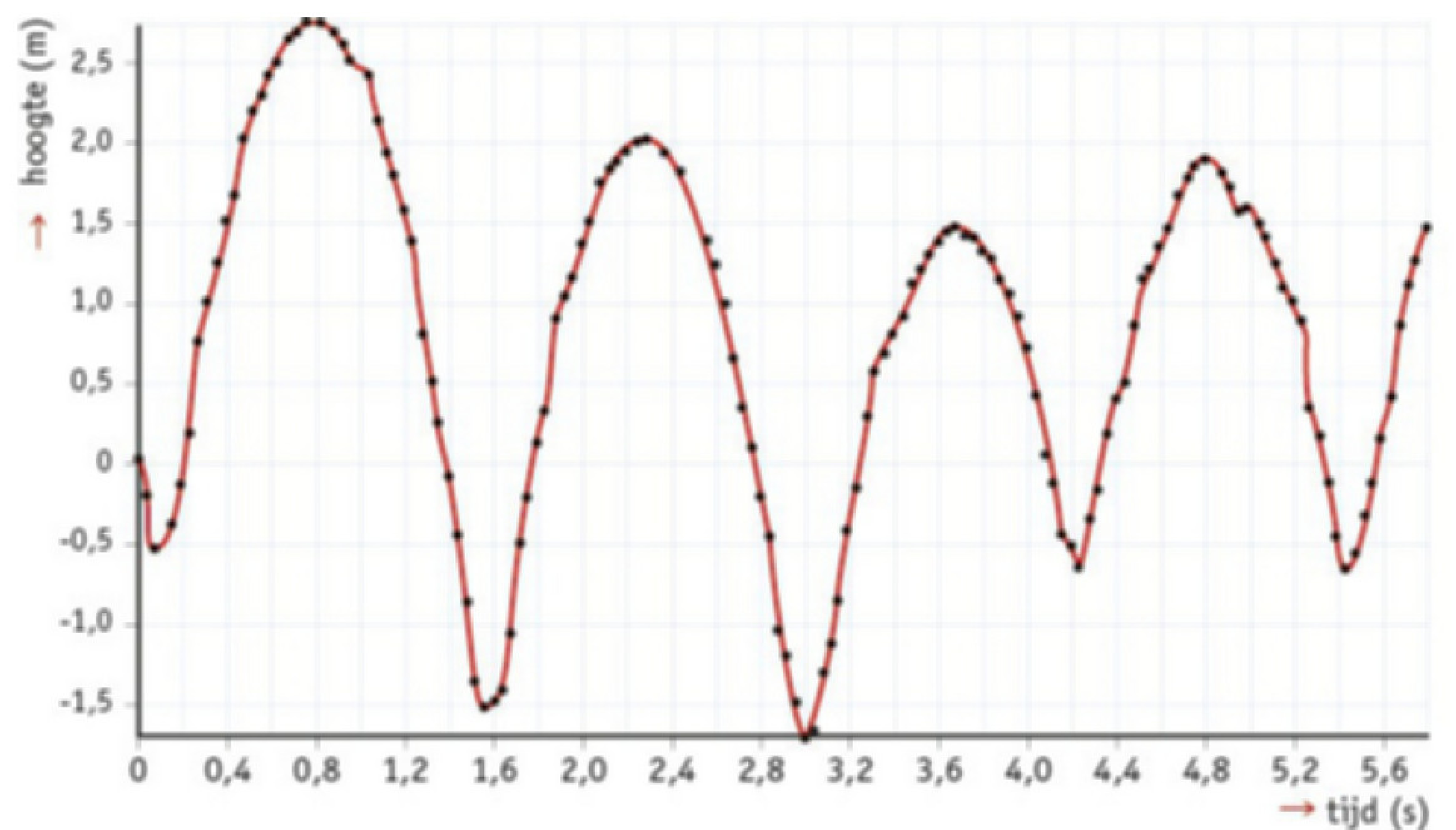
▲ **figuur 8**
een stuiterende bal

6 In figuur 8 zie je een stroboscopische foto van een stuiterende bal.
- **a** Wanneer beweegt het balletje het snelst? Waaraan zie je dat?
- **b** Wanneer beweegt het balletje het langzaamst? Waaraan zie je dat?
- **c** Het balletje raakt bij A en B de grond. Hoeveel tijd zit daartussen? De tijd tussen twee opeenvolgende lichtflitsen is 0,05 s.

7 Stel dat de fotograaf van figuur 8 de stroboscooplamp had ingesteld op 0,10 s.
Hoeveel keer was het balletje dan gefotografeerd tussen A en B?

***8** In figuur 9 zie je een videometing van een persoon die op een trampoline springt. In het diagram is de hoogte uitgezet tegen de tijd.
- **a** Hoeveel sprongen zijn in dit voorbeeld gemeten?
- **b** Hoe hoog was de hoogste sprong?
- **c** Op welke momenten bewoog de trampolinespringer het langzaamst?





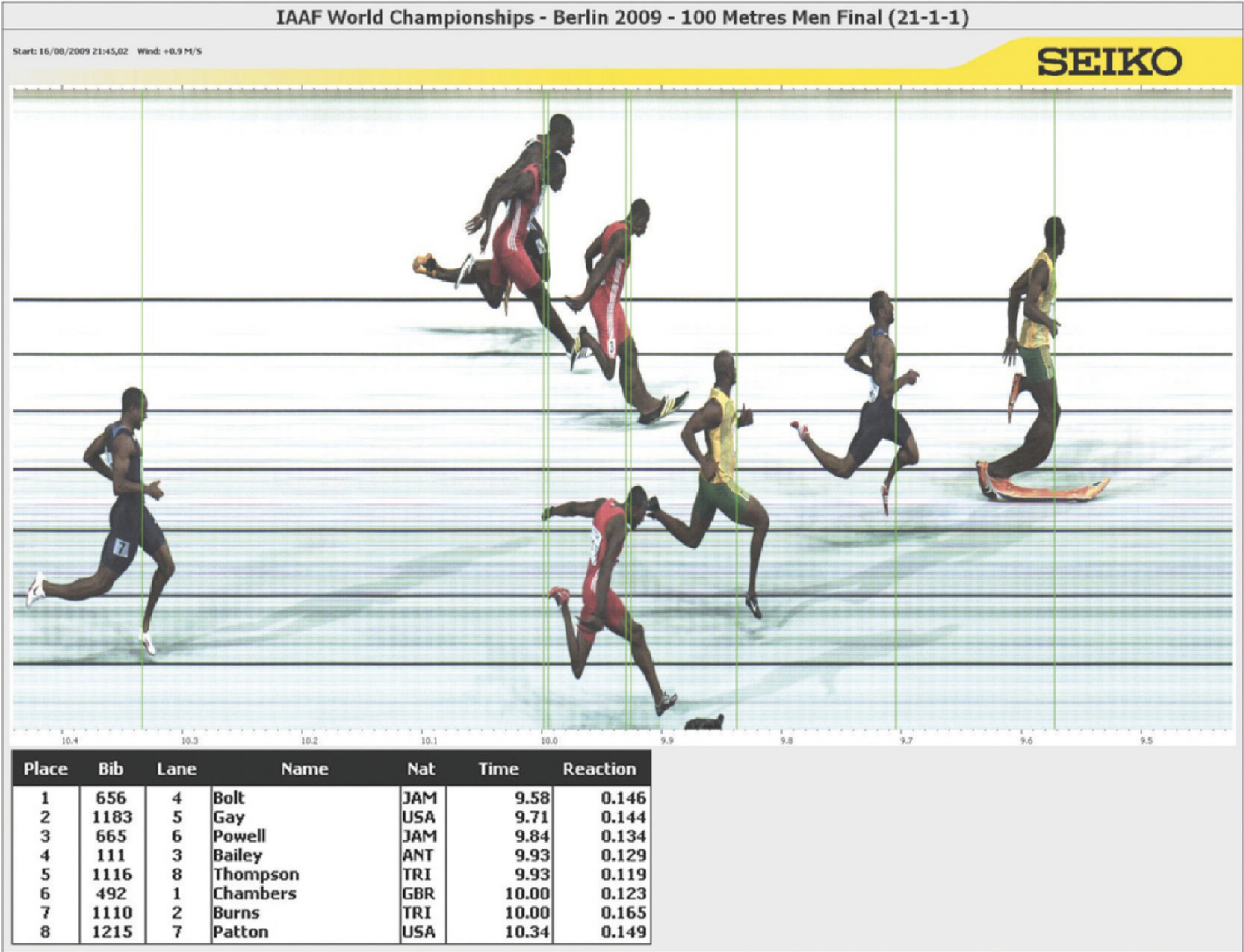
▲ **figuur 9**
een videometing van een serie sprongen op een trampoline

Plus Finishfoto's

9 Een finishfoto wordt gemaakt met een speciale camera.
Neem over en vul in.
- **a** Voor de lens van deze camera zit een scherm met daarin een .... spleet.
- **b** Door die spleet is een smalle strook van de … te zien, ter hoogte van de …
- **c** Als je één opname maakt, krijg je een smalle foto waar alleen de … op staat.
- **d** Een finishfoto bestaat uit een hele serie … naast elkaar die elk … breed zijn.

***10** In figuur 10 zie je een finishfoto van de 100 meter sprint voor mannen. Onder in beeld zie je de tijden van de atleten.

- **a** Waar in de foto lopen de renners met de snelste tijden, links of rechts?
- **b** Wat is de eindtijd van de winnaar?
- **c** Naar welk lichaamsdeel wordt gekeken bij het bepalen van de eindtijd (en dus ook bij het aanwijzen van de winnaar)?
- **d** De voet van de renner rechts op de foto is op een rare manier uitgerekt.
  Leg uit hoe dat komt.
- **e** Hoeveel tijd zat er tussen de winnaar en de sprinter die als laatste finishte?
- **f** Hoeveel centimeter afstand zit er op de foto tussen de winnaar en de laatste sprinter?
- **g** Bereken met welk tijdverschil een centimeter afstandsverschil op de foto overeenkomt.



Place	Bib	Lane	Name	Nat	Time	Reaction
1	656	4	Bolt	JAM	9.58	0.146
2	1183	5	Gay	USA	9.71	0.144
3	665	6	Powell	JAM	9.84	0.134
4	111	3	Bailey	ANT	9.93	0.129
5	1116	8	Thompson	TRI	9.93	0.119
6	492	1	Chambers	GBR	10.00	0.123
7	1110	2	Burns	TRI	10.00	0.165
8	1215	7	Patton	USA	10.34	0.149

▲ **figuur 10**
de finishfoto van de finale van de 100 meter sprint (WK 2009)

2 Gemiddelde snelheid

Een wielrenner die een etappe van 184 kilometer in 4 uur aflegt, heeft een gemiddelde snelheid van 46 kilometer per uur (km/h). Dat betekent natuurlijk niet dat zijn snelheid de hele tijd precies 46 km/h was. Maar als hij wel voortdurend 46 km/h gereden had, zou hij dezelfde afstand (184 km) in dezelfde tijd (4 uur) hebben afgelegd.

De gemiddelde snelheid berekenen

De **gemiddelde snelheid** geeft je vaak een goede indruk van hoe snel iets of iemand beweegt. Je kunt de gemiddelde snelheid berekenen door de afgelegde afstand te delen door de benodigde tijd:

$$\text{gemiddelde snelheid} = \frac{\text{afstand}}{\text{tijd}}$$

Of in letters:

$$v_{gem} = \frac{s}{t}$$

Als je de afstand s invult in meters en de tijd t in seconden, krijg je de gemiddelde snelheid v_{gem} in meters per seconde (m/s).
Als je de afstand invult in kilometers en de tijd in uren, krijg je de gemiddelde snelheid in kilometers per uur (km/h).

Als je een plaats-tijddiagram van een beweging hebt, kun je daaruit de afgelegde afstand aflezen. Je noteert op welke plaats de beweging is begonnen en op welke plaats de beweging is geëindigd. Het verschil tussen die twee waarden is de afgelegde afstand. Vaak begint een plaats-tijddiagram bij 0 meter. In dat geval geeft de plaats van het eindpunt je meteen ook de afgelegde afstand.



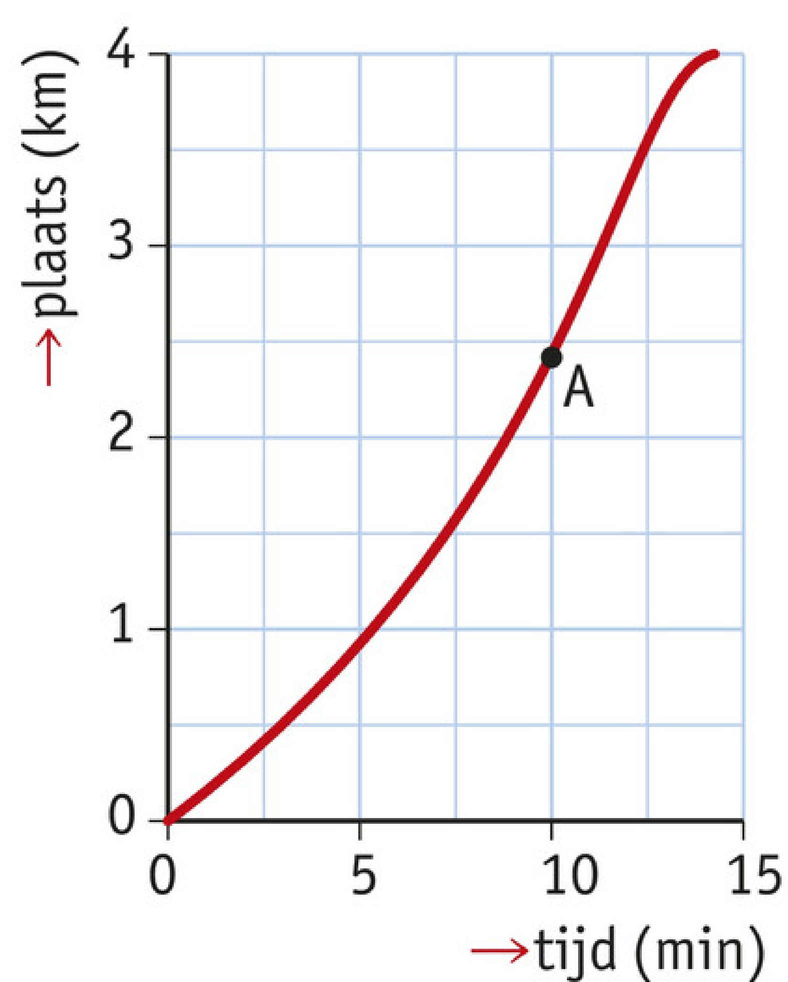
▶ **figuur 11**
atletes op topsnelheid tijdens de 100 meter

Voorbeeldopgave 1
Een sprintster loopt de 100 meter in 10,8 s (figuur 11).
Bereken haar gemiddelde snelheid.

gegevens $s = 100$ m
$t = 10,8$ s

gevraagd $v_{gem} = ?$

uitwerking $v_{gem} = \dfrac{s}{t} = \dfrac{100}{10,8} \approx 9,3$ m/s



▲ **figuur 12**
het (x,t)-diagram van een fietsrit van huis naar school

Voorbeeldopgave 2
Ben fietst iedere dag naar school. In figuur 12 zie je het plaats-tijddiagram van een van zijn fietstochten. Bij punt A in de grafiek zag Ben dat het al laat was en ging hij sneller fietsen.
Bereken de gemiddelde snelheid van Ben vanaf punt A tot zijn aankomst op school.

gegevens $s = 4,0 - 2,4 = 1,6$ km $= 1600$ m
$t = 14 - 10 = 4$ min $= 240$ s

gevraagd $v_{gem} = ?$

uitwerking $v_{gem} = \dfrac{s}{t} = \dfrac{1600}{240} \approx 6,7$ m/s

Snelheid omrekenen

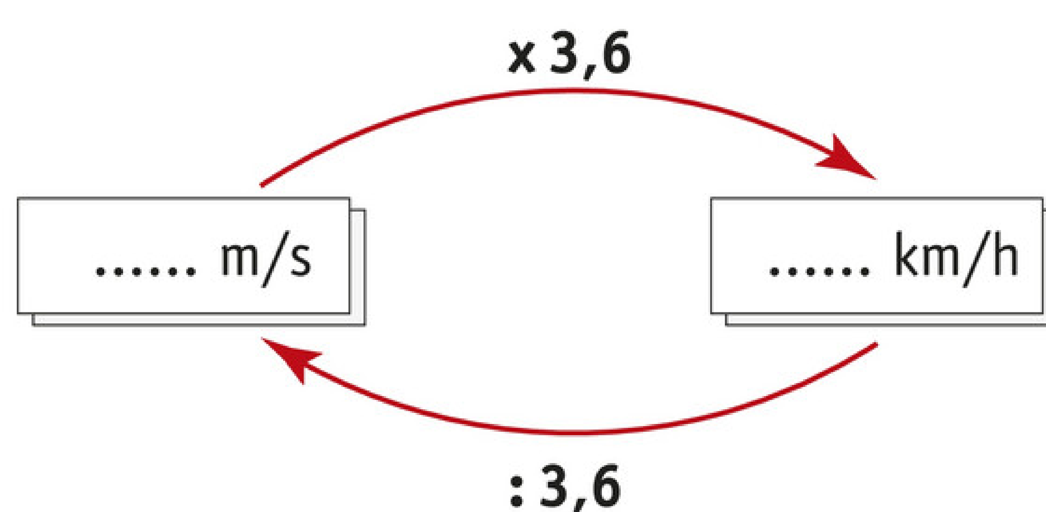
Vaak is het handig om snelheid te kunnen omrekenen van meter per seconde (m/s) naar kilometer per uur (km/h), en omgekeerd. Als je 6,7 m/s omrekent, kom je (afgerond) uit op een snelheid van 24 km/h. Dat zegt je waarschijnlijk meer dan 10 m/s, omdat je gewend bent om snelheden in km/h uit te drukken.

Om snelheid te kunnen omrekenen, moet je weten dat:
1 km = 1000 m
1 h = 3600 s

Bij een snelheid van 10 m/s redeneer je als volgt: als je in 1 seconde 10 meter aflegt, leg je (met dezelfde snelheid) in 1 uur 3600 × 10 meter af. Je kunt dus opschrijven:

$$10 \text{ m/s} = \frac{3600 \times 10 \text{ m}}{3600 \times 1 \text{ s}} = \frac{36\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{36 \text{ km}}{1 \text{ h}} = 36 \text{ km/h}$$

Ga na dat vermenigvuldigen met 3,6 hetzelfde resultaat oplevert (figuur 13).



▲ **figuur 13**
Een schema om van m/s om te rekenen naar km/h – en omgekeerd.

Omrekenen van km/h naar m/s gaat zo:

$$90 \text{ km/h} = \frac{90 \text{ km}}{1 \text{ h}} = \frac{90\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 25 \text{ m/s}$$

Ga na dat dit overeenkomt met delen door 3,6.

Afstand en tijd berekenen

Je kunt de formule:

$$v_{gem} = \frac{s}{t}$$

ook gebruiken om er de afstand of de tijd mee te berekenen. Het is handig om de formule dan op een andere manier op te schrijven, met de gevraagde grootheid voorop.

Als je de gemiddelde snelheid en de tijd kent, kun je de afgelegde afstand berekenen. Je schrijft de formule dan als:

$$s = v_{gem} \cdot t$$

Als de gemiddelde snelheid en de afgelegde afstand bekend zijn, kun je berekenen hoeveel tijd er voor de beweging nodig was. In dat geval schrijf je de formule als:

$$t = \frac{s}{v_{gem}}$$

Voorbeeldopgave 3
Een automobilist weet dat hij op een bepaalde route gemakkelijk een gemiddelde snelheid haalt van 90 km/h. Over de hele route doet hij ongeveer zes uur. Welke afstand legt hij dan ongeveer af?

gegevens $v_{gem} = 90$ km/h
$t = 6$ h

gevraagd $s = ?$

uitwerking $s = v_{gem} \cdot t = 6 \times 90 = 540$ km

Voorbeeldopgave 4
Als Annet een wandeltocht van 50 km maakt, ligt haar gemiddelde snelheid (rustpauzes meegerekend) rond 4 km/h (figuur 14).
Bereken hoe lang ze over deze tocht doet.

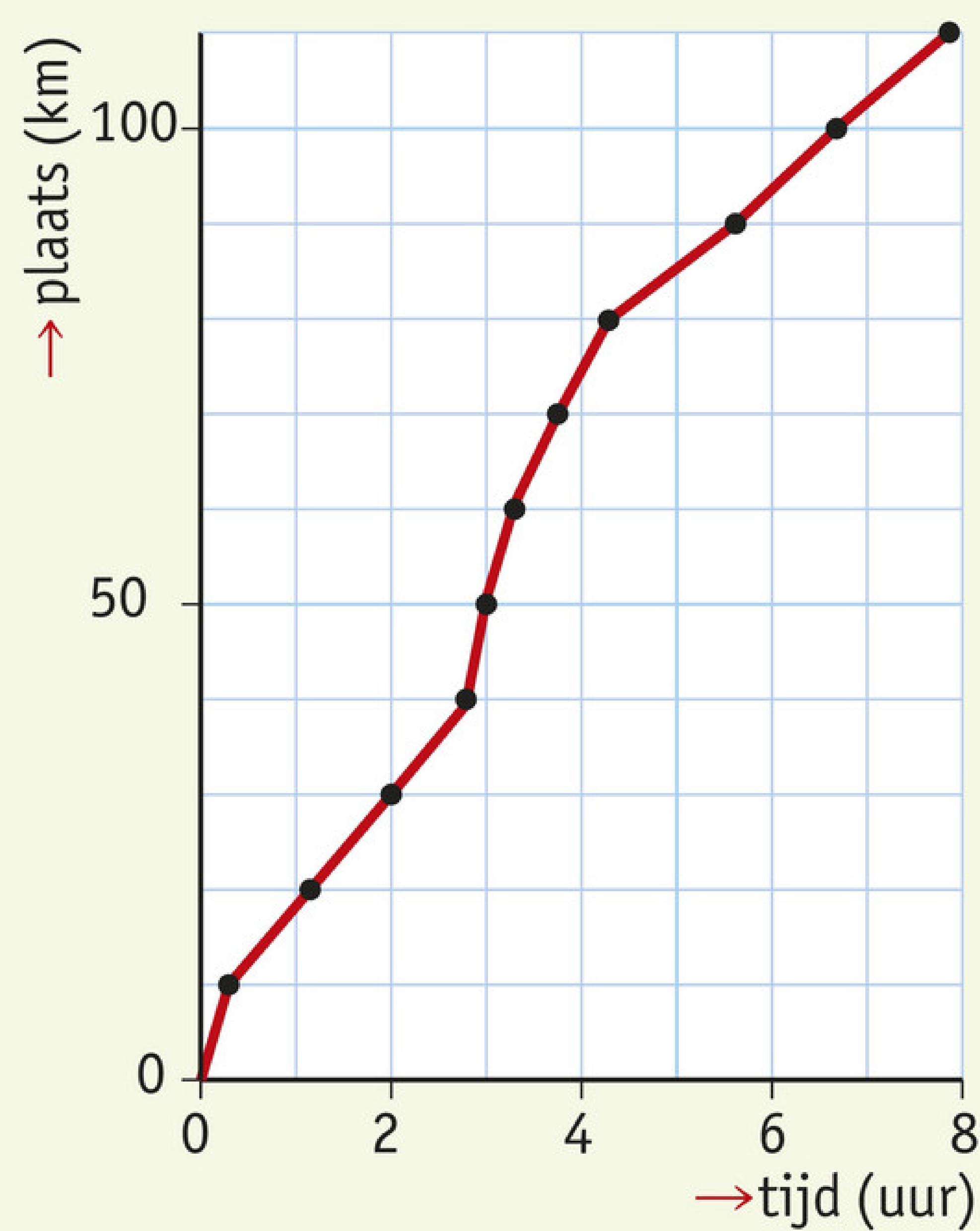
gegevens $s = 50$ km
$v_{gem} = 4$ km/h

gevraagd $t = ?$

uitwerking $t = \frac{s}{v_{gem}} = \frac{50}{4} = 12{,}5$ uur



▶ **figuur 14**
De laatste 50 km zit er voor Annet bijna op.



▲ **figuur 15**
het plaats-tijddiagram van een fietstocht door de heuvels

Plus Eindtijd en tussentijden

Bij veel sportwedstrijden registreert de tijdwaarneming behalve de eindtijd ook een aantal tussentijden. Daaraan kun je zien hoe de snelheid tijdens de race varieert. Er is een app voor smartphones waarmee je zelf je tussentijden kunt vastleggen, bijvoorbeeld als je een fietstocht maakt. Elke keer dat je 10 km hebt afgelegd, wordt de tussentijd opgeslagen.

De grafiek in figuur 15 is gemaakt met de gegevens van zo'n app. Het is het plaats-tijddiagram van een fietstocht door heuvelachtig gebied. Met de gegevens in de grafiek kun je de gemiddelde snelheid berekenen over de hele tocht. Je kunt ook de gemiddelde snelheid berekenen over elk traject van 10 km.

Als je fietst in heuvelachtig terrein, is je snelheid niet steeds even groot. Dat zou je zien als de app ook de tussentijden na elke kilometer had vastgelegd. Daarmee had je de gemiddelde snelheid over elke kilometer kunnen berekenen. Hoe groter het aantal tussentijden, des te preciezer kun je de veranderingen in de snelheid in kaart brengen.

opgaven Leerstof

11 Bij wielerwedstrijden wordt vaak de gemiddelde snelheid berekend van de winnaar en van het peloton.

a Welke gegevens heb je nodig om de gemiddelde snelheid te kunnen berekenen?

b Met welke formule (in letters) kun je daarna de gemiddelde snelheid uitrekenen?

12 Je kunt de gemiddelde snelheid opgeven in m/s of in km/h.

a Hoe kun je een snelheid in m/s snel omrekenen naar km/h?

b Hoe kun je een snelheid in km/h snel omrekenen naar m/s?

13 Als je de gemiddelde snelheid en de tijd kent, kun je de afgelegde afstand berekenen.
Welke formule gebruik je daarvoor?

Toepassing

14 In tabel 2 staan de gegevens van vijf bewegingen.
Neem de tabel over en vul de ontbrekende gegevens in.

▼ **tabel 2** afstand, tijd en gemiddelde snelheid

afstand	tijd	gemiddelde snelheid
45 km	45 minuten	… km/h
4,5 km	80 minuten	… m/s
200 m	… s	9,0 m/s
… km	2 uur	85 km/h
20 km	… minuten	90 km/h

15 De familie De Ruiter gaat met de auto op vakantie. De afstand tussen hun woonplaats Drachten en hun vakantieadres in Confolens (midden Frankrijk) is 1100 km. Ze gaan om 04.00 uur 's ochtends weg en komen om 17.00 uur 's middags aan.

a Bereken de gemiddelde snelheid in km/h.

b De auto rijdt gedurende het grootste deel van de reis sneller dan 120 km/h. Toch is de gemiddelde snelheid een stuk lager.
Waaraan zou dat liggen?

16 Bij de wereldkampioenschappen atletiek van 2011 rende de Amerikaan Walter Dix de 100 meter in 10,08 s en de 200 meter in 19,70 s.

a Bereken voor elke afstand de gemiddelde snelheid in m/s en in km/h.
Schrijf de volledige berekening op.

b De gemiddelde snelheid is bij de 200 meter groter dan bij de 100 meter.
Geef daarvoor een verklaring.

17 Lars gaat een fietstocht maken. Omdat hij een fietscomputer heeft, weet hij dat zijn gemiddelde snelheid bij zo'n tocht ongeveer 18 km/h is.

a Lars heeft een route door het bos uitgestippeld van Arnhem naar Harderwijk. De route is 63 km.
Bereken hoe lang hij ongeveer over die afstand zal doen.

b Een dag later wil Lars nog een tocht maken. Hij wil niet langer dan zes uur onderweg zijn.
Bereken welke afstand Lars hoogstens kan afleggen in die zes uur.

18 Een deelnemer aan de triatlon legt de 3,8 km zwemmen af in twee uur, de 180 km fietsen in vijf uur en de 42 km marathon in drie uur.

a Bereken de gemiddelde snelheid voor elk van de drie onderdelen afzonderlijk (in km/h).

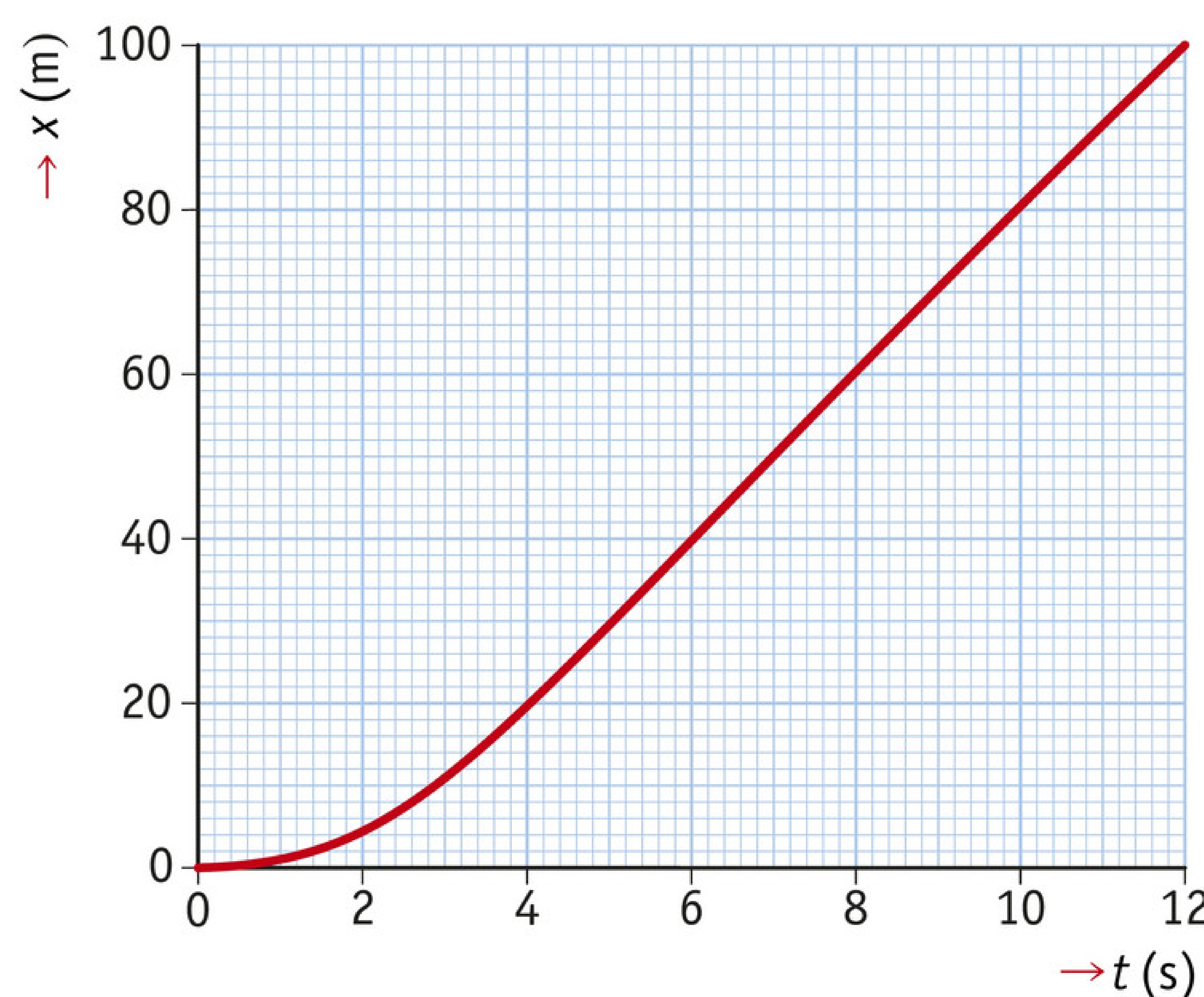
b Bereken de gemiddelde snelheid voor de hele triatlon.

19 Fleur nadert met de auto een stoplicht in de bebouwde kom met een snelheid van 50 km/h. Als ze 300 m van het stoplicht af is, ziet ze het licht op groen springen. Ze weet dat het licht 20 s op groen blijft staan. Bereken of ze het groene licht kan halen zonder de maximumsnelheid van 50 km/h te overschrijden.

***20** In de grafiek van figuur 16 zie je het (*x*,*t*)-diagram van een sprinter op de 100 m.

A Bereken de gemiddelde snelheid van de sprinter in km/h.

B Gedurende het grootste deel van de tijd had de atleet een constante snelheid.
Bepaal de grootte van die snelheid in km/h.



▶ **figuur 16**
het (*x*,*t*)-diagram van een sprinter

***21** Jeroen fietst in drie uur van Middelburg naar Bergen op Zoom (een afstand van 60 km). Over de terugweg doet hij vier uur.

a Bereken zijn gemiddelde snelheid op de heenweg.

b Bereken zijn gemiddelde snelheid op de terugweg.

c Bereken de gemiddelde snelheid, gerekend over de hele reis (heen en terug).

Plus Eindtijd en tussentijden

22 Kijk naar de gegevens van de toertocht uit figuur 15.

a Wat was de gemiddelde snelheid over de hele tocht?

b Ga met een berekening na welk traject met de grootste gemiddelde snelheid is afgelegd: de eerste 55 km of de tweede 55 km.

c In welk traject van 10 km was de gemiddelde snelheid het grootst?

d De tocht ging over heuvelachtig terrein.
Welk deel van de tocht ging waarschijnlijk heuvelop?

***23** Bekijk nog een keer de grafiek in figuur 15.

a Bereken de grootste gemiddelde snelheid over 10 km.

b Bereken de grootste gemiddelde snelheid over 20 km.

c Leg uit waarom het antwoord bij a groter is dan bij b.

3 Versneld – eenparig – vertraagd

Natuurkundigen verdelen bewegingen in verschillende soorten. Daarbij kijken ze het eerst naar de snelheid: Wordt de snelheid steeds groter, blijft hij de hele tijd gelijk of neemt hij steeds verder af? Of zoals een automobilist zou zeggen: is het optrekken, doorrijden of afremmen? In deze paragraaf leer je meer over deze drie soorten bewegingen.

Van snelheid veranderen Proef 3

Bij veel sportwedstrijden verandert de snelheid tijdens de wedstrijd. In figuur 17 zijn als voorbeeld stroboscopische opnames weergegeven van drie momenten uit een tijdrit van de Tour de France.

- In figuur 17a gaat de wielrenner van start. Hij probeert vanuit stilstand zo vlug mogelijk op snelheid te komen. Zo'n beweging waarvan de snelheid steeds groter wordt, noem je een **versnelde beweging**.
- In figuur 17b rijdt de wielrenner met een constante snelheid over een vlakke weg. De wielrenner legt elke seconde hetzelfde aantal meters af. Je noemt dit een **eenparige beweging**.
- In figuur 17c remt de wielrenner af nadat hij de finish is gepasseerd. Daarbij neemt zijn snelheid snel af. Een beweging waarvan de snelheid steeds kleiner wordt, wordt een **vertraagde beweging** genoemd.





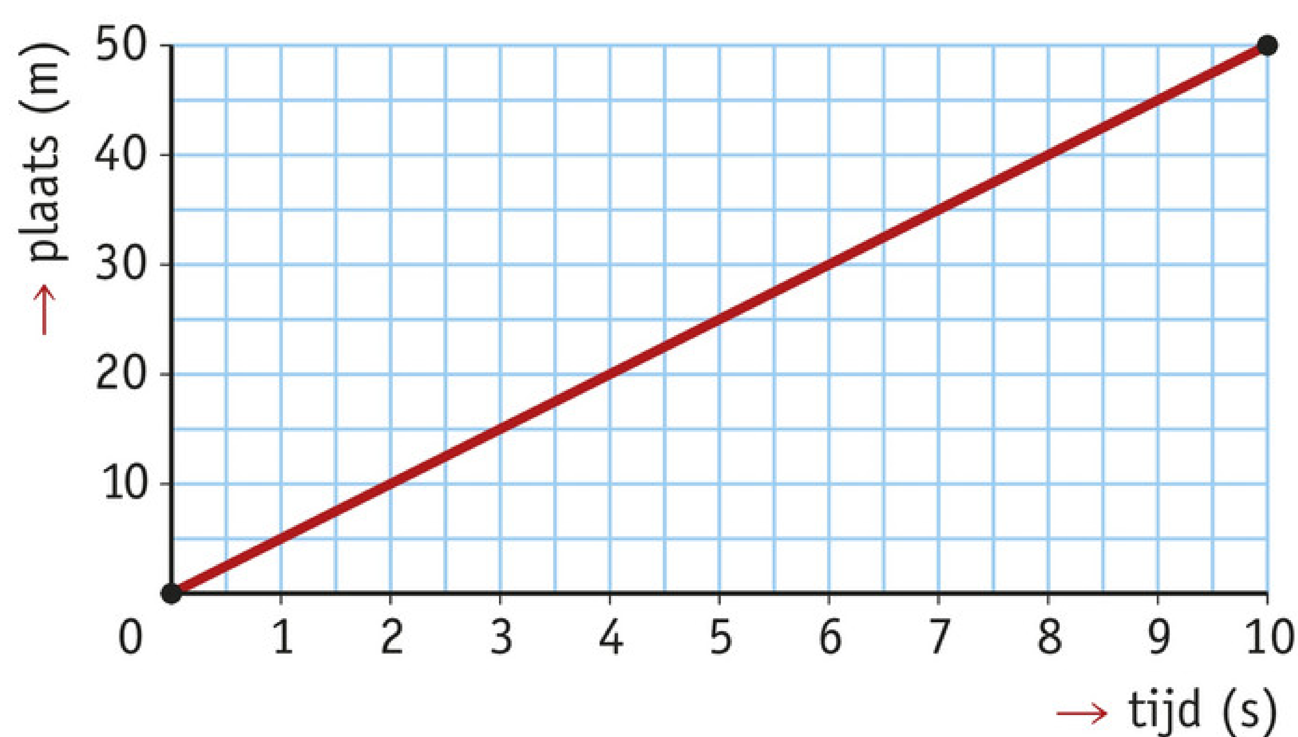


▶ **figuur 17**
Een tijdrit: de wielrenner beweegt achtereenvolgens versneld, eenparig en vertraagd.

De eenparige beweging

Bij een eenparige beweging verandert de snelheid niet: die blijft de hele tijd constant. Als je de gemiddelde snelheid kent, weet je meteen hoe groot de snelheid op elk moment van de beweging was. Bij een eenparige beweging geldt dus:

$$v = v_{gem} = \frac{s}{t}$$



▲ **figuur 18**
het (x,t)-diagram van een eenparige beweging

In deze formule staat v staat voor de snelheid op elk (!) moment van de beweging en t voor de tijd die nodig was voor het afleggen van de afstand s. In figuur 18 is het (x,t)-diagram getekend van een fietser die met een constante snelheid van 5,0 m/s fietst.

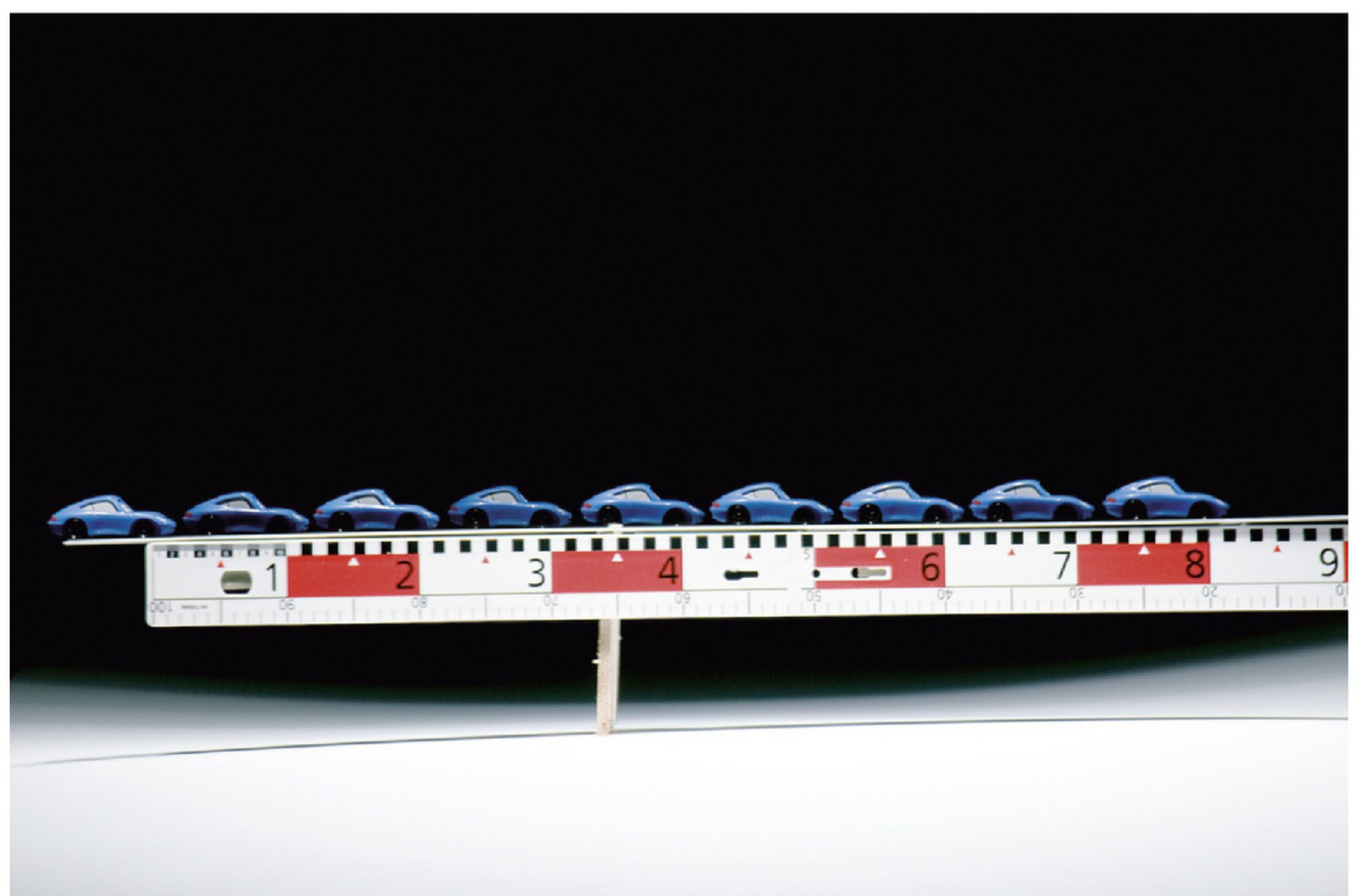
Voorbeeldopgave 5

Heleen heeft een stroboscopische foto gemaakt van een speelgoedauto die eenparig beweegt (figuur 19). De tijd tussen twee lichtflitsen was 0,4 s.
Bereken de snelheid van de auto.

gegevens $t = 8 \times 0{,}4 = 3{,}2$ s
$s = 82 - 2 = 80$ cm

gevraagd $v = ?$

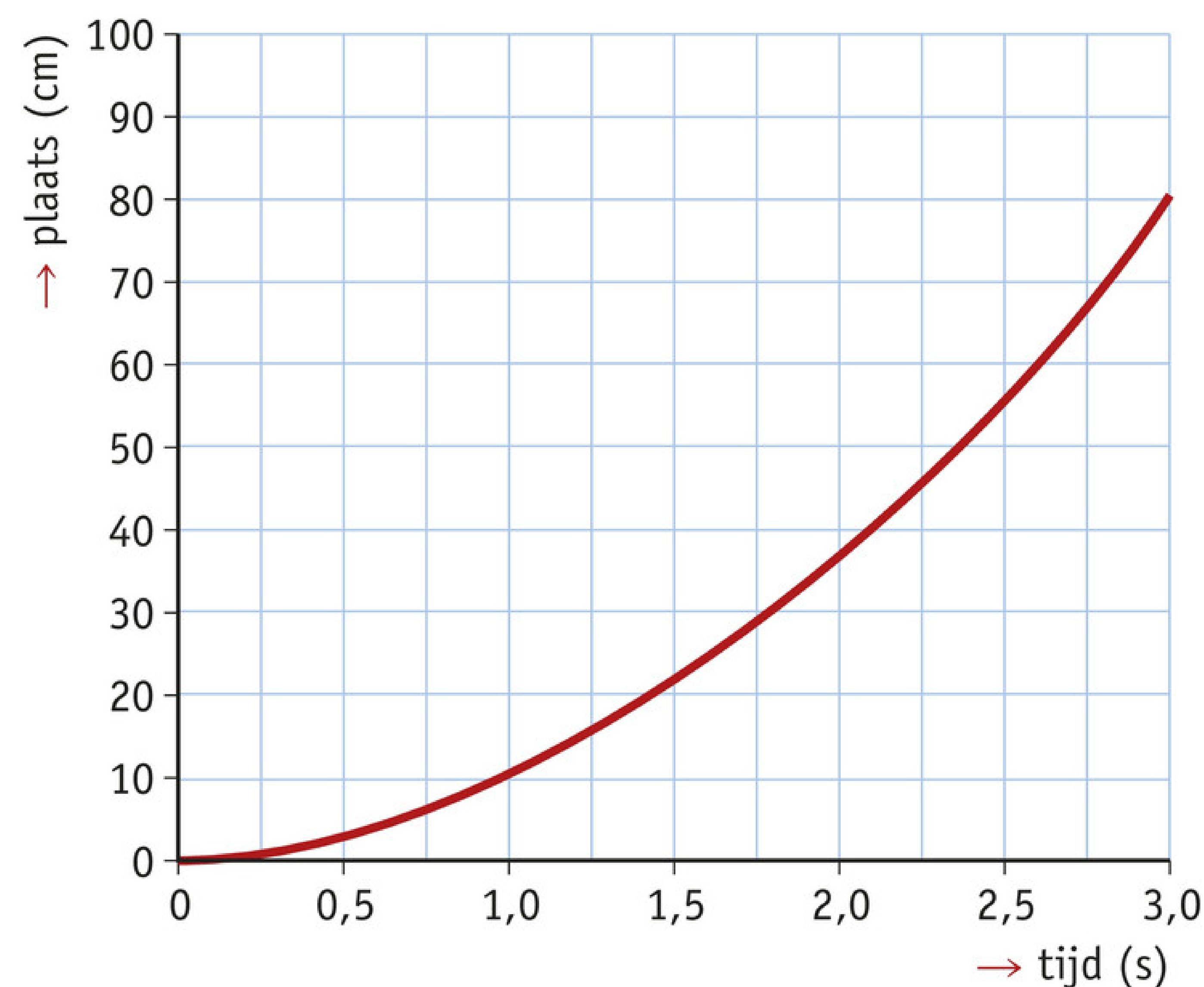
uitwerking $v = \frac{s}{t} = \frac{80}{3{,}2} = 25$ cm/s



▶ **figuur 19**
een stroboscopische foto van een speelgoedauto

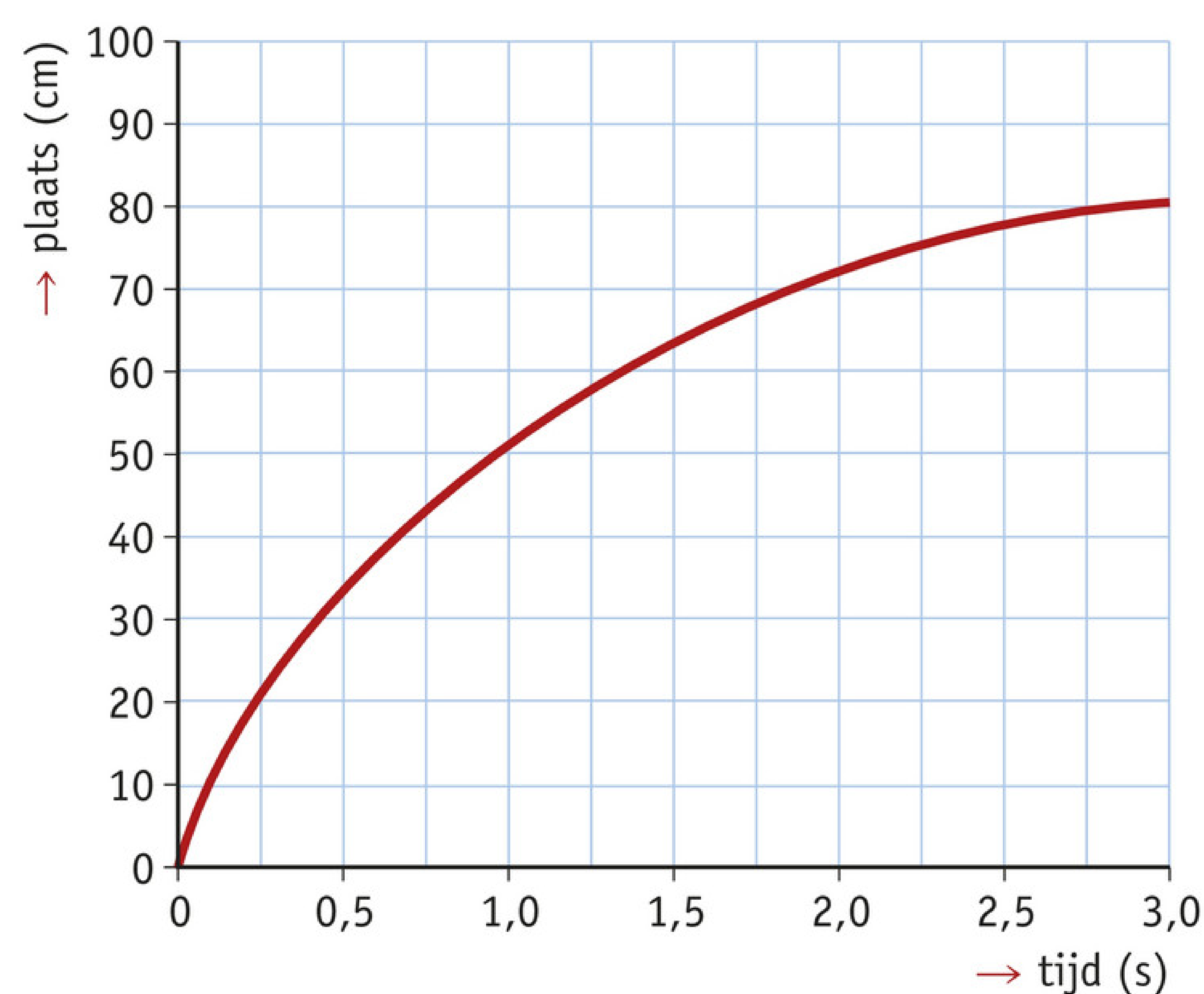
Versnelde en vertraagde bewegingen

Als een voorwerp versneld beweegt, legt het in dezelfde tijd een steeds grotere afstand af. Dat kun je zien op een stroboscopische foto van zo'n beweging: de afstand tussen de opeenvolgende beeldjes wordt steeds groter. Als je het (x,t)-diagram van zo'n beweging tekent, krijg je een gebogen lijn die steeds steiler omhoogloopt (figuur 20).



▶ figuur 20
het (x,t)-diagram van een versnelde beweging

In figuur 21 is het (x,t)-diagram getekend van een vertraagde beweging. Bij zo'n beweging zie je het omgekeerde als bij een versnelde beweging: de afstand die het voorwerp in een bepaalde tijd aflegt, wordt steeds kleiner. Je kunt dat ook zien in het (x,t)-diagram: de grafiek is een gebogen lijn die steeds minder steil omhoogloopt.



▶ figuur 21
het (x,t)-diagram van een vertraagde beweging

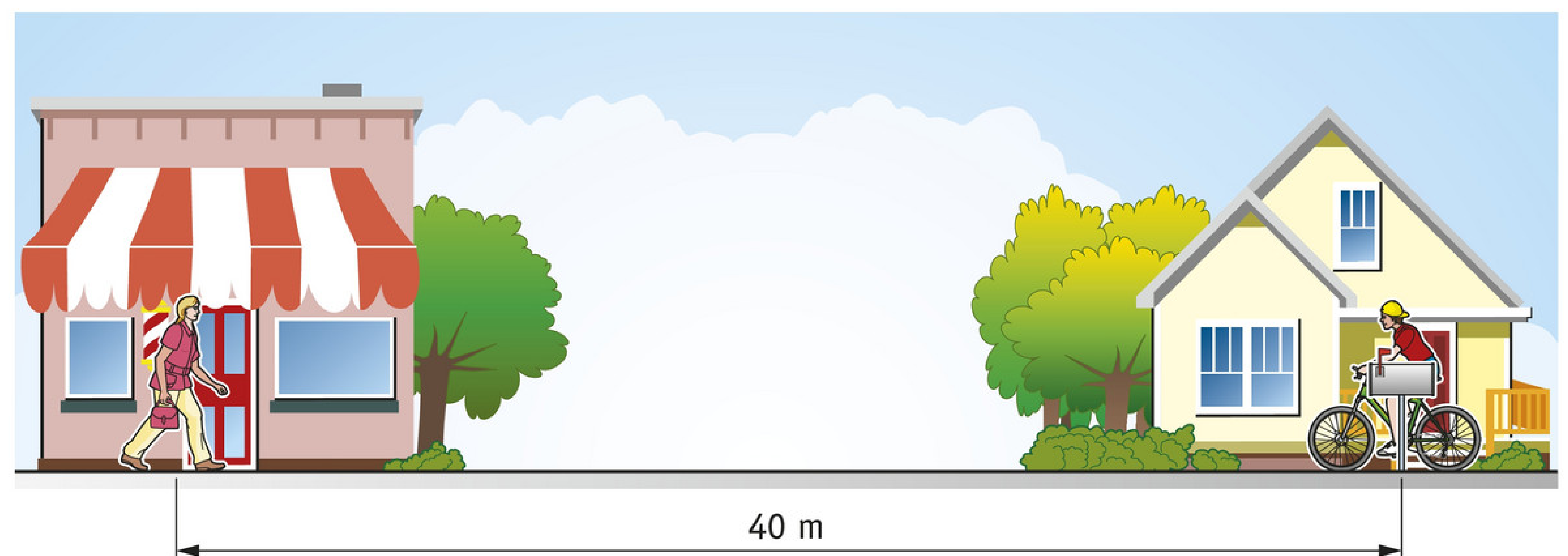
Tegenkomen en inhalen

Op de meeste wegen heb je verkeer in twee richtingen. Regelmatig kom je iemand tegen die de andere richting op rijdt. Ook word je af en toe door iemand ingehaald. Soms is het handig om dit soort bewegingen in één (x,t)-diagram in te tekenen. Op die manier kun je erachter komen waar en wanneer twee weggebruikers elkaar passeren.

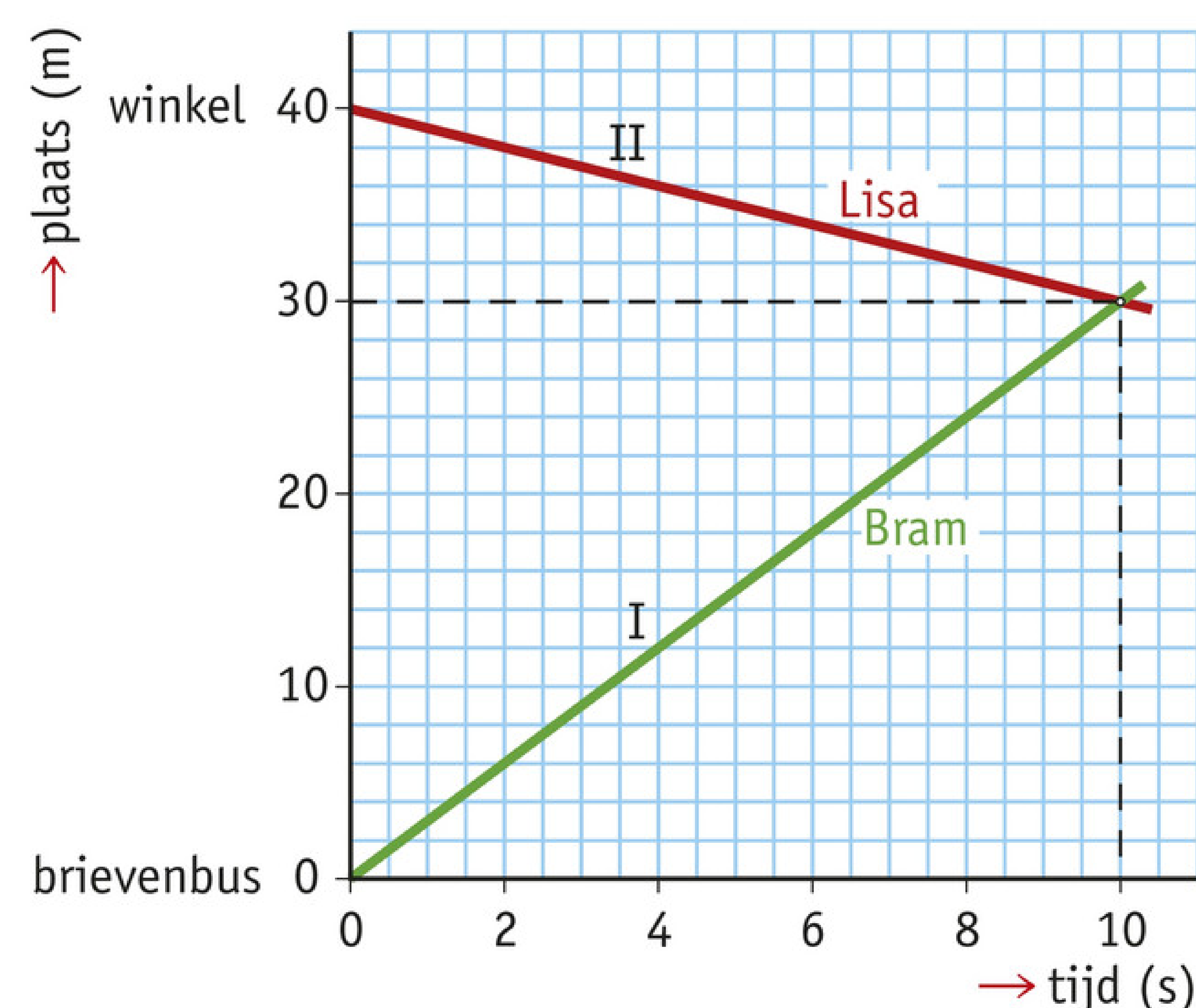
Voorbeeldopgave 6

Bram vertrekt per fiets op t = 0 s vanaf de brievenbus voor zijn huis richting de winkel 40 m verderop. Zijn snelheid is 3,0 m/s. Op hetzelfde moment vertrekt Lisa lopend vanuit de winkel richting Bram (figuur 22). Haar snelheid bedraagt 1,0 m/s.
Bepaal waar en wanneer ze elkaar ontmoeten.

Lisa en Bram bewegen allebei langs dezelfde weg. In het (x,t)-diagram van figuur 23 zijn hun bewegingen ingetekend. Grafiek I geeft de beweging van Bram weer. Deze begint bij 0 m. Grafiek II geeft de beweging van Lisa weer. Deze begint op 40 m. Het snijpunt van de twee grafieken heeft als coördinaten t = 10 s en x = 30 m. Lisa en Bram ontmoeten elkaar dus op 30 m van de brievenbus op het tijdstip t = 10 s.



▶ **figuur 22**
Waar ontmoeten Lisa en Bram elkaar?



▶ **figuur 23**
het (x,t)-diagram van een ontmoeting

Plus Navigatiesystemen

Vroeger gebruikten automobilisten kaarten om de juiste weg te vinden. Tegenwoordig hebben de meeste auto's daarvoor een navigatiesysteem: een computer met een gps-ontvanger, een geheugen met digitale kaarten en een programma dat snel een goede reisroute berekent. Het programma geeft ook aan hoe lang de reistijd zal zijn.

Het navigatiesysteem rekent die reistijd als volgt uit. Eerst zoekt het programma uit over welke wegen je rijdt. Daarna rekent het voor elk stuk weg apart de reistijd uit. Ten slotte telt het programma de afzonderlijke reistijden bij elkaar op. Om de reistijd over een weggedeelte te berekenen, gebruikt het navigatiesysteem twee gegevens: de afstand die je over de weg gaat afleggen en de te verwachten snelheid op de weg.

Op internet kun je ook websites vinden die routes plannen voor fietsers. Zo'n routeplanner gaat standaard uit van de gemiddelde snelheid van een gewone fietser. Vaak kun je die gemiddelde snelheid aanpassen aan je eigen situatie. Als je van plan bent om met een racefiets veel snelheid te maken, kun je de snelheid bijvoorbeeld op 25 km/h instellen. Voor een dagje rustig fietsen, stel je de snelheid in op 15 km/h.



◀ **figuur 24**
Een fietser raadpleegt een routeplanner op zijn smartphone.

opgaven

Leerstof

24 Hoe noem je een beweging:
- **a** waarvan de snelheid steeds groter wordt?
- **b** waarvan de snelheid niet verandert?
- **c** waarvan de snelheid steeds kleiner wordt?

25 In opgave 24 worden drie bewegingen beschreven.
- **a** Schets de (x,t)-diagrammen van deze bewegingen.
- **b** Schrijf bij elk diagram om wat voor beweging het gaat.

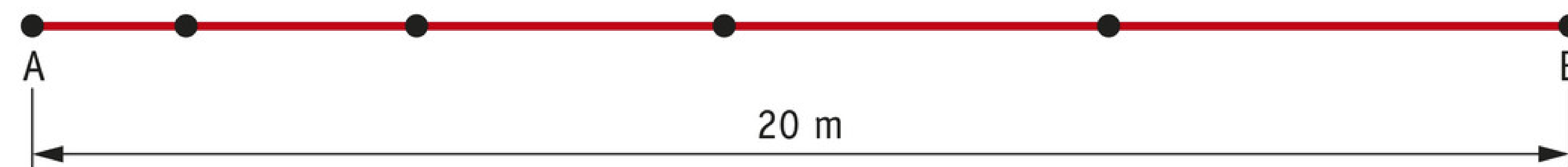
Toepassing

26 Schrijf van elke beweging op of deze versneld, eenparig of vertraagd is.
- **a** De beweging van je fiets als je zonder te trappen een heuvel op gaat.
- **b** De beweging van een sneltrein gedurende het grootste deel van de reis.
- **c** De beweging van een atleet tijdens de eerste seconde van de 100 meter.
- **d** De beweging van een auto die remt voor een overstekende voetganger.

27 Een scooter lekt elke seconde een druppel olie. In figuur 25 is een deel getekend van het oliespoor op de weg. De afstand tussen A en B bedraagt 20 m.

a Waaraan zie je dat de scooter tussen A en B versneld beweegt?

b Bereken de gemiddelde snelheid van de scooter tussen A en B.



▶ **figuur 25**
een oliespoor

28 Judith fietst van huis naar school. In figuur 26 zie je het (x,t)-diagram van haar beweging.
Welk gedeelte van het diagram hoort bij elk van de volgende omschrijvingen?

a Ze staat stil voor een rood verkeerslicht.

b Ze rijdt met een constante snelheid van 4,0 m/s.

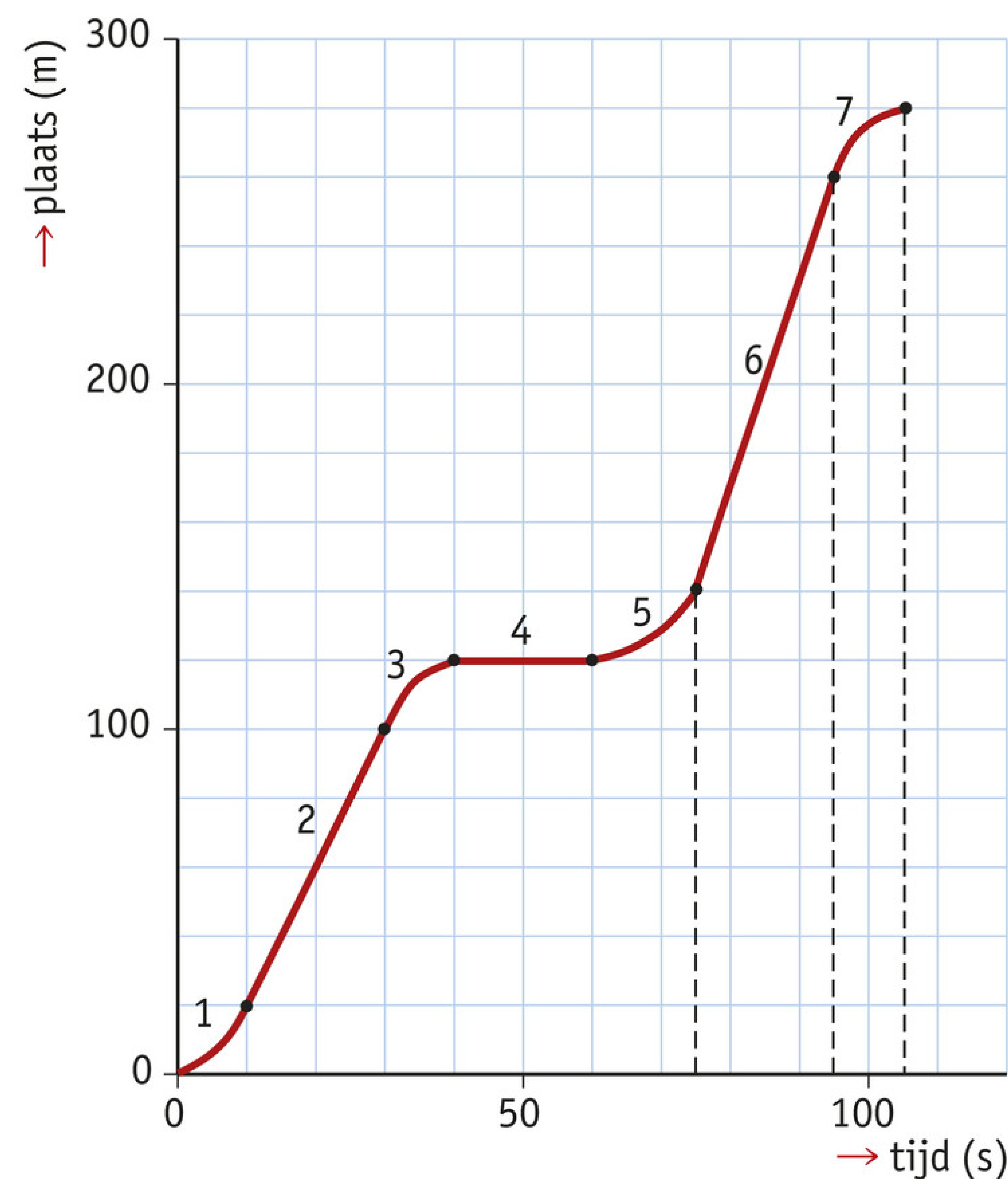
c Ze remt af als een verkeerslicht op rood springt.

d Ze stapt op de fiets en rijdt van huis weg.

e Ze rijdt met een constante snelheid van 6,0 m/s.

f Ze rijdt weg als het verkeerslicht op groen springt.

g Ze remt en stapt af als ze bij school aankomt.



▶ **figuur 26**
het diagram van Judith

29 Bekijk het (x,t)-diagram in figuur 26 nog eens.

a In welke gedeeltes van het diagram:
- is de beweging versneld?
- is de beweging eenparig?
- is de beweging vertraagd?

b Bereken de gemiddelde snelheid van Judith in km/h.

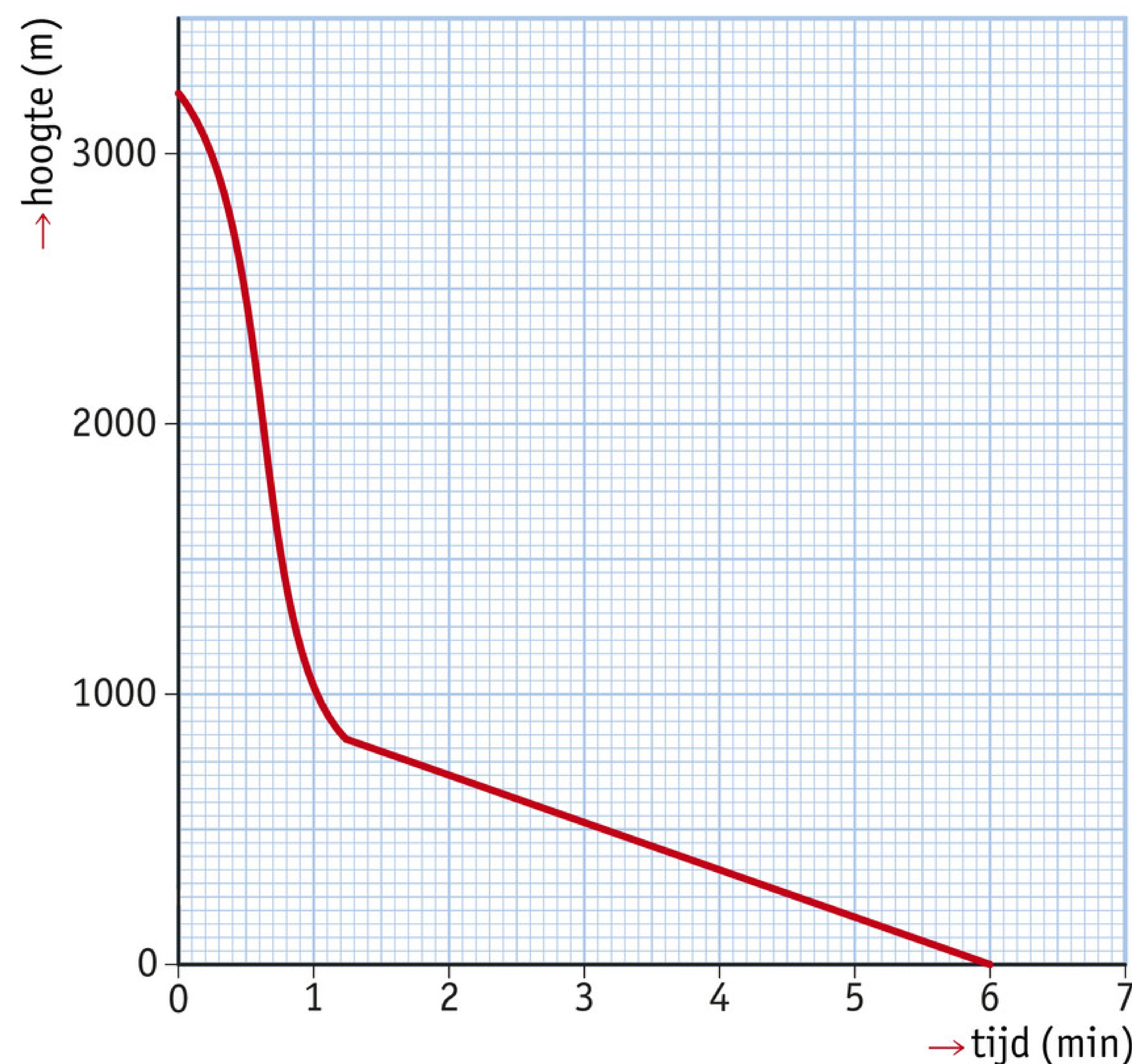
***30** In figuur 27 zie je het (h,t)-diagram van een parachutesprong.

a Vanaf welke hoogte sprong de parachutist?

b Op welk tijdstip ging de parachute open?

c Tussen welke tijdstippen:
- is de beweging versneld?
- is de beweging vertraagd?
- is de beweging eenparig?

d Tussen welke tijdstippen heeft de parachutist de hoogste snelheid?



▶ **figuur 27**
het (h,t)-diagram van een parachutesprong

31 Bij deze opgave heb je werkblad 6-1 nodig.
Kim en Amber zitten bij elkaar in de klas. Kim komt voorbij Ambers huis als ze naar school fietst. Op het werkblad is het (x,t)-diagram getekend van de rit van Kim en Amber naar school.

a Op hoeveel meter van Kim start Amber?

b Wie fietst het snelst? Waaraan zie je dat?

c Bereken de snelheid van beide scholieren.

d Kim en Amber rijden met dezelfde snelheid verder, totdat de een de ander inhaalt.
Teken hun bewegingen in op het werkblad.

e Zet een stip met de letter S op de plaats waar Kim en Amber elkaar ontmoeten.

f Na hoeveel minuten gebeurt dat?

***32** Bij deze opgave heb je werkblad 6-2 nodig.
Robin en Lotte maken een toertocht op hun motoren. Robin staat voor verkeerslichten te wachten, als Lotte aan komt rijden. Als de verkeerslichten op groen springen, trekt Robin op. Op hetzelfde moment passeert Lotte hem op haar motor. Lotte heeft op dat moment een constante snelheid van 54 km/h.

a Teken op het werkblad de grafiek van Lotte's beweging.
b Op welk tijdstip zal Lotte Robin passeren?
c Op hoeveel meter van de verkeerslichten is dat?

Plus Navigatiesystemen

33 Bij veel routeplanners voor automobilisten kun je kiezen tussen de kortste route en de snelste route.

a Hoe komt het dat de snelste route vaak sterk afwijkt van de kortste route? Leg uit.
b Een fietsrouteplanner laat je niet kiezen tussen een kortste route en een snelste route.
Leg uit waarom die keuzemogelijkheid er voor fietsers niet is.
c Met de site Google Maps kun je de rechtstreekse afstand tussen twee punten meten. Je kunt ook een routebeschrijving laten maken waarbij de afstand is aangegeven.
Leg uit waarom de afstand volgens de routebeschrijving vrijwel altijd anders is dan de rechtstreekse afstand tussen het begin- en het eindpunt.

34 Een eenvoudige routeplanner op internet rekent met een snelheid van 110 km/h voor snelwegen en 70 km/h voor overige wegen buiten de bebouwde kom.

a Op wegen die geen snelweg zijn, mag je soms 80 km/h of zelfs 100 km/h rijden.
Waarom zou de routeplanner als gemiddelde toch maar 70 km/h nemen?
b De familie Boersma rijdt vanuit Zeewolde naar Emmeloord. De totale afstand is 60 km, waarvan 30 km snelweg en 30 km op een gewone weg buiten de bebouwde kom.
Bereken hoe lang de familie Boersma volgens de routeplanner over de reis doet. Schrijf de hele berekening overzichtelijk op.

4 Remmen en botsen

Je moet als automobilist altijd rekening houden met het verkeer om je heen. In geval van nood moet je tijdig kunnen stoppen – ook als de weg glad is en je auto zwaar beladen. Een goede automobilist neemt daarom snelheid terug en houdt meer afstand tot voorliggers, als de situatie daarom vraagt.

De remweg

Als het rempedaal van een auto wordt ingetrapt, beweegt de auto vertraagd verder tot hij stilstaat. Tijdens deze vertraagde beweging legt de auto nog een bepaalde afstand af. Deze afstand wordt de remweg genoemd. Hoe langer de **remweg**, des te groter is de kans op een ongeluk.

Hoe lang de remweg is, hangt af van:

1 *De beginsnelheid*
De beginsnelheid is de snelheid op het moment dat de auto begint te remmen. Hoe groter de beginsnelheid, des te langer de remweg.

2 *De (totale) massa van de auto*
Hoe groter de massa van een auto, des te langer de remweg. Een volgeladen vrachtwagen heeft een langere remweg dan een lege.

3 *De remkracht*
Hoe harder je op het rempedaal trapt, des te groter de remkracht en des te korter de remweg (zo lang de auto niet begint te slippen).

De beginsnelheid en de remweg Proef 4

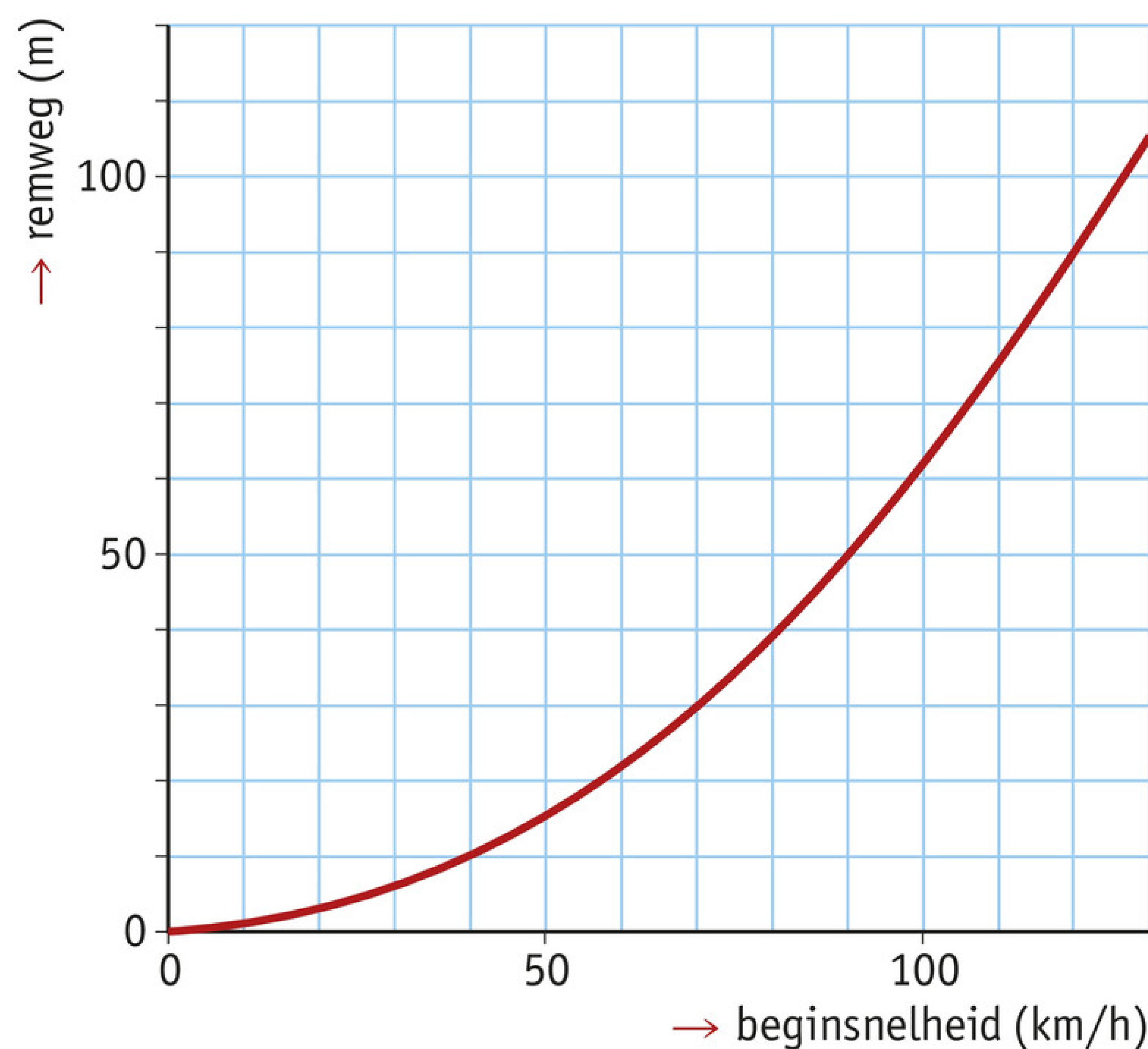
In figuur 28 kun je zien hoe lang de remweg van een personenauto is bij verschillende beginsnelheden. De gegevens in de grafiek zijn afkomstig van remproeven. Bij deze proeven is steeds dezelfde auto gebruikt. Ook is steeds even hard geremd. Alleen de beginsnelheid was elke keer anders.

Uit de grafiek blijkt dat de remweg snel toeneemt als de snelheid van de auto groter wordt. Om precies te zijn:

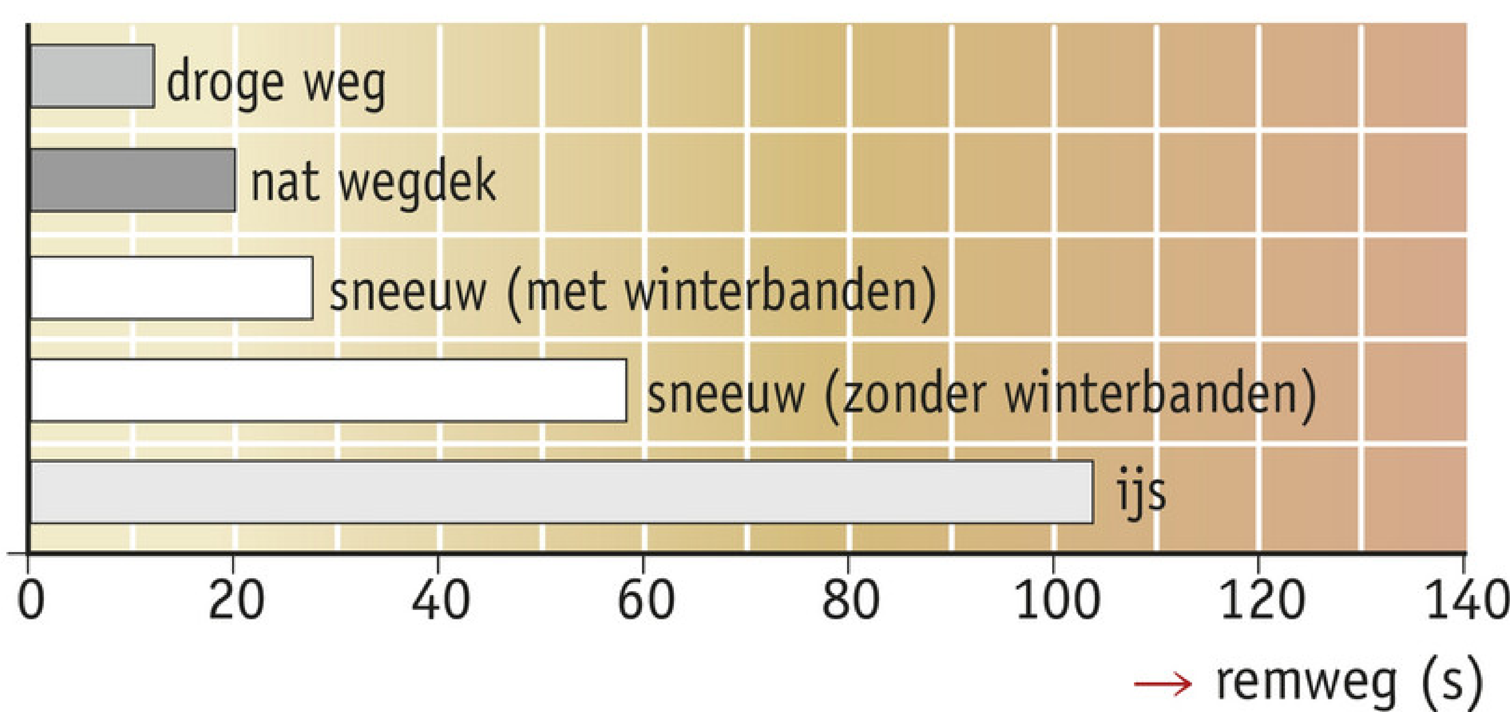
Als de snelheid n keer zo groot wordt, wordt de remweg n^2 keer zo lang.

Als de snelheid verdubbelt van 40 naar 80 km/h, wordt de remweg vier (2^2) keer zo lang: van 10 m bij 40 km/h naar 40 m bij 80 km/h.

De grafiek in figuur 28 geldt voor normale omstandigheden: goede remmen en banden, een normaal wegdek en droog weer. Als de remmen versleten zijn of het wegdek glad is door sneeuw of ijzel, kan de bestuurder minder hard remmen. De remkracht is dan kleiner en de remweg langer, soms zelfs veel langer (figuur 29).



▶ **figuur 28**
remweg en beginsnelheid



▶ **figuur 29**
de remweg van een auto onder verschillende weersomstandigheden

Voorbeeldopgave 7
Als een auto 40 km/h rijdt, is de remweg (onder normale omstandigheden) 10 m.
Hoe lang is de remweg als de auto 120 km/h rijdt?

gegevens v_1 = 40 km/h
v_2 = 120 km/h
s_1 = 10 m

gevraagd s_2 = ?

uitwerking v_2 is 3× zo groot als v_1, dus $n = 3$
s_2 is dus $n^2 = 3^2 = 9\times$ zo lang als s_1
De remweg s_2 is dus 9 × 10 = 90 m.



▲ figuur 30
Met iemand achterop is de massa groter en de remweg langer.

De massa en de remweg

Behalve de (begin)snelheid heeft ook de massa invloed op de remweg. Hoe zwaarder een auto of een fiets beladen is, hoe langer de remweg wordt. Dat merk je bijvoorbeeld als je iemand meeneemt achter op je fiets. Ook al rem je even hard als anders, met iemand achterop duurt het langer voor je stilstaat (figuur 30).

Veel mensen gaan zomers met een zwaar beladen auto op vakantie. De remweg van hun auto is dan langer dan ze gewend zijn. Als het goed is, houden ze daar ook rekening mee. Bijvoorbeeld door langzamer te rijden, vooral als het verkeer druk is. Zo kunnen ze de remweg, die anders te lang zou worden, terugbrengen tot een veilige waarde.

Met een zwaar beladen auto moet je op de snelweg ook meer afstand houden. Als er dan onverwacht iets gebeurt, zal je minder snel tegen je voorligger aanrijden. Meer afstand houden is ook een goed idee als het regent of sneeuwt. Zo verklein je de kans op een ongeluk.

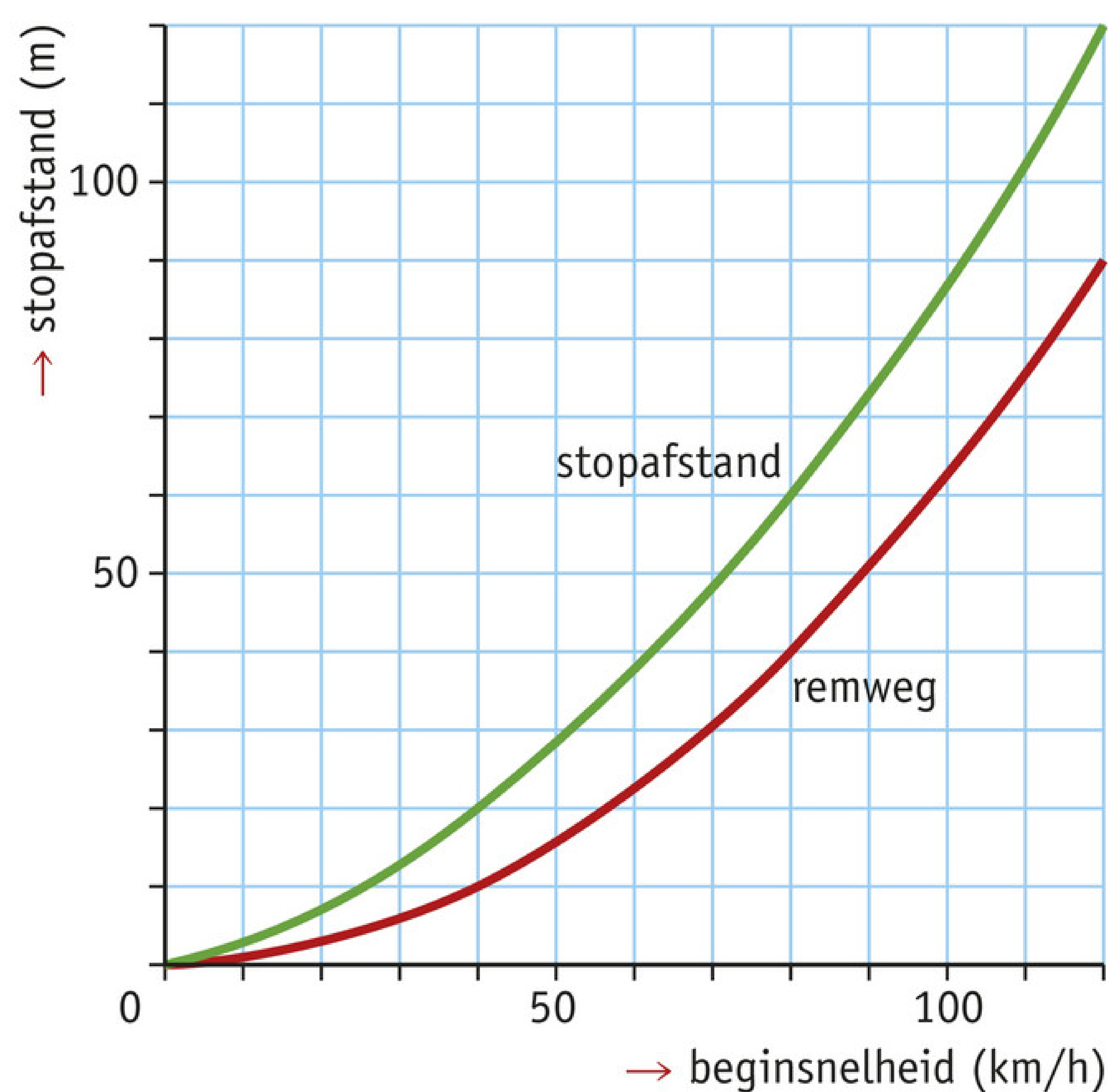
De reactietijd Proef 5

Als een kind voor een auto de weg oprent, zal de bestuurder afremmen. Maar de bestuurder kan onmogelijk meteen reageren: het duurt altijd even voordat het rempedaal wordt ingetrapt en de remmen aanslaan. De tijd tussen het zien van het gevaar en het aanslaan van de remmen wordt de **reactietijd** genoemd.

De reactietijd ligt normaal gesproken tussen 0,7 en 1,0 s. Maar als je niet oplet of als je moe bent, reageer je een stuk langzamer. Het gebruik van alcohol, drugs en sommige medicijnen maakt je reactietijd ook langer.

De totale afstand die een auto nodig heeft om te stoppen – de **stopafstand** – is daarom groter dan de remweg. Je moet namelijk ook de afstand meerekenen die de auto tijdens de reactietijd aflegt: de **reactieafstand** (figuur 31). Met andere woorden:

stopafstand = reactieafstand + remweg



◀ figuur 31
De stopafstand is groter dan de remweg.

Voorbeeldopgave 8
Justine rijdt met 45 km/h over een lokale weg, als ze plotseling moet remmen voor een hond die de weg op rent. Haar reactietijd is 0,8 s. Bepaal hoe groot de stopafstand is. Je kunt de remweg aflezen uit figuur 28.

gegevens	over de reactieafstand: v = 45 km/h = 12,5 m/s t = 0,8 s over de remweg: Volgens figuur 28 is de remweg 12 m (bij 45 km/h).
gevraagd	stopafstand = ?
uitwerking	reactieafstand: s = $v \cdot t$ = 12,5 × 0,8 = 10 m stopafstand = reactieafstand + remweg = 10 + 12 = 22 m



▲ **figuur 32**
De kreukelzone wordt in elkaar gedrukt, de kooiconstructie vervormt nauwelijks.

Plus Bescherming tegen botsingen

Als een auto ergens tegenaan botst, staat hij vrijwel meteen stil. De 'remweg' bij een botsing is heel kort en de klap die de inzittenden krijgen, is groot. Om de inzittenden te beschermen, moet de 'remweg' van de inzittenden bij een botsing zo lang mogelijk gemaakt worden. Daar wordt op verschillende manieren voor gezorgd.

Auto's worden zo gemaakt dat bij een botsing de voorkant van de auto in elkaar schuift (je noemt die voorkant de **kreukelzone** van de auto). Daardoor wordt de 'remweg' die de inzittenden afleggen, enkele tientallen centimeters langer. De inzittenden zitten dan veilig in de kooiconstructie: het gedeelte van de auto dat niet gemakkelijk vervormt (figuur 32).

De **veiligheidsgordels** zorgen ervoor dat de inzittenden tegelijk met de auto afremmen. Zonder veiligheidsgordel zou de bestuurder bijvoorbeeld pas afremmen als hij met zijn hoofd tegen de voorruit slaat. Daarnaast rekken de gordels een eindje uit als de auto botst. Ook daardoor wordt de 'remweg' van de inzittenden langer. Een airbag heeft dezelfde functie als een veiligheidsgordel, maar geeft nog beter mee (waardoor de 'remweg' nog langer wordt).

opgaven Leerstof

35 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Van welke drie factoren hangt het af, hoe lang de remweg van een auto is?
- **b** Welk verband bestaat er tussen de snelheid van een auto en zijn remweg?
- **c** Hoe verandert je remweg, wanneer je iemand meeneemt achter op je fiets?
- **d** Door welke oorzaken kan iemands reactietijd langer zijn dan hij anders is?

36 Onder slechte omstandigheden kan een auto een ongewoon lange remweg hebben.
- **a** Noteer drie voorbeelden van zulke slechte omstandigheden.
- **b** In zo'n situatie moet de bestuurder van de auto zijn rijstijl aanpassen. Noteer twee dingen die hij kan doen om de kans op ongelukken te verkleinen.

37 Als een automobilist ziet dat hij moet stoppen, remt de auto niet op hetzelfde moment al af.
- **a** Hoe noem je de tijd tussen het zien van het gevaar en het aanslaan van de remmen?
- **b** Hoe noem je de afstand die de auto in die tijd aflegt?
- **c** Hoe noem je de afstand die de auto tijdens het remmen aflegt, tot hij stilstaat?
- **d** Hoe kun je de totale stopafstand berekenen?

Toepassing

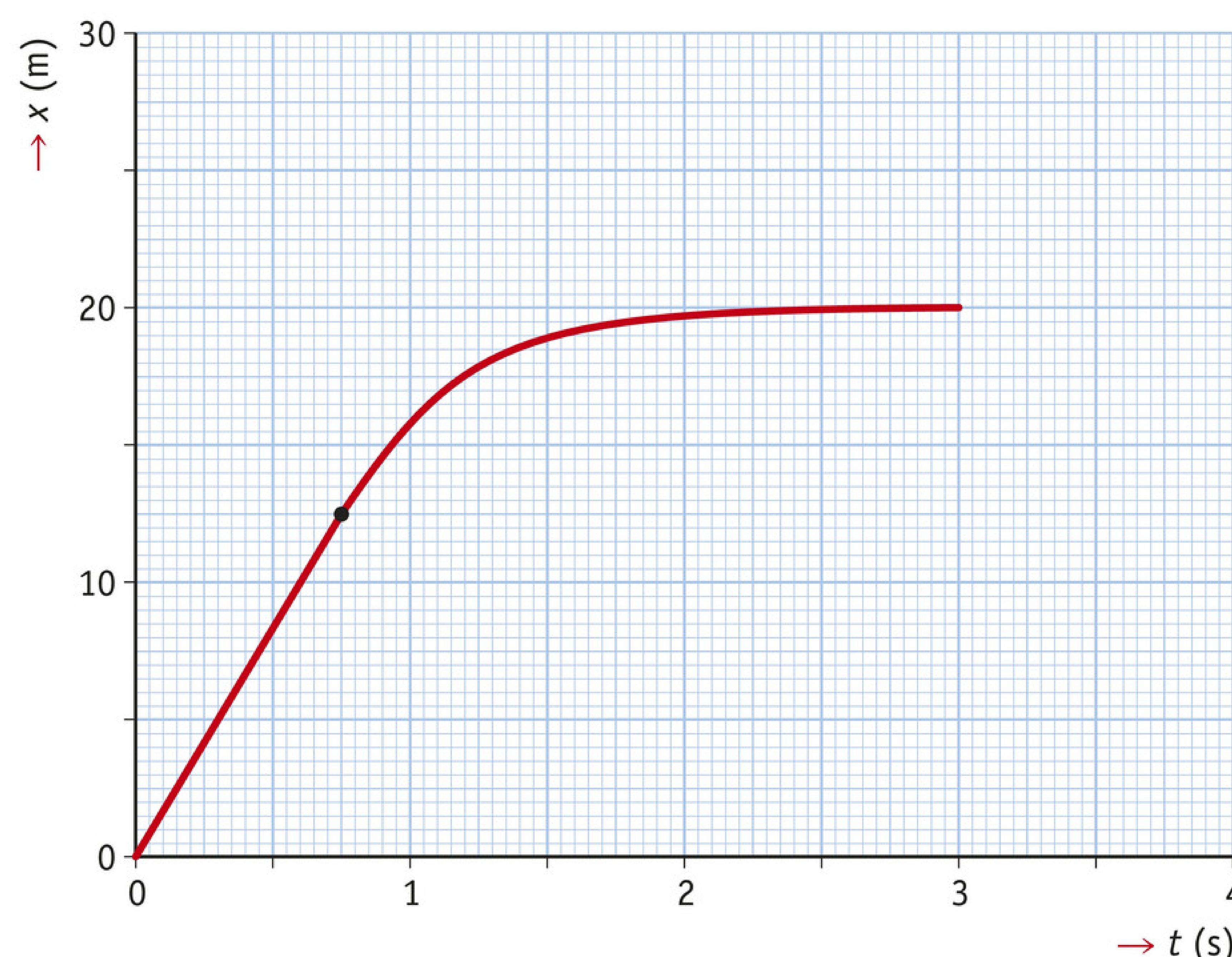
38 In de vijf situaties hieronder is de remweg van een auto langer dan normaal.
Geef voor elke situatie aan waaraan dat ligt.
Kies uit: *De massa is groter dan anders. / De remkracht is kleiner dan anders.*
- **a** De chauffeur heeft net vijf passagiers laat instappen.
- **b** De banden van de auto hebben geen profiel meer.
- **c** De weg is glad doordat er pas sneeuw gevallen is.
- **d** De voering van de remmen is helemaal versleten.
- **e** De imperiaal en de achterbak zitten vol bagage.

39 Veel ongelukken ontstaan doordat een auto niet binnen een bepaalde afstand tot stilstand kan komen. Hieronder staan zeven mogelijke oorzaken:
1 versleten banden
2 vermoeidheid
3 zware regen
4 slechte remmen
5 een zwaar beladen auto
6 gebruik van alcohol/drugs
7 een te hoge snelheid
a Welke van deze omstandigheden beïnvloeden de reactietijd?
b Welke van deze omstandigheden maken de remweg langer?

40 Een personenauto rijdt 120 km/h. De omstandigheden zijn normaal.
a Lees uit figuur 28 af hoe groot de remweg is bij deze snelheid.
b De bestuurder van de auto heeft een reactietijd van 0,8 s. Bereken hoe groot zijn reactieafstand zal zijn bij 120 km/h.
c Bereken hoe groot de totale stopafstand in deze situatie is.

41 Een automobilist rijdt in de bebouwde kom 40 km/h. Plotseling ziet hij 22 m voor zijn auto een kind oversteken. Zijn reactietijd is 0,9 s. Laat met een berekening zien dat er net geen botsing tussen auto en kind optreedt. Gebruik figuur 28 om de remweg af te lezen.

42 In figuur 33 is het (x,t)-diagram getekend van een auto die plotseling moet stoppen voor een overstekende hond. De reactietijd bedraagt 0,75 s.
a Bereken met behulp van de gegevens in figuur 33 hoe groot de beginsnelheid van de auto was.
b Bepaal met behulp van het diagram:
– de remweg.
– de reactieafstand.
– de stopafstand.



▶ **figuur 33**
het (x,t)-diagram van een remmende auto

43 De Rijksoverheid adviseert automobilisten om op doorgaande wegen 'minstens 2 seconden afstand te houden'. Zie figuur 34.

a Twee auto's rijden met een constante snelheid van 130 km/h op de snelweg achter elkaar aan. De achterste bestuurder houdt zich exact aan de '2 secondenregel'.
Bereken de afstand tussen de twee auto's.

b Waarom drukt de overheid de afstand uit in seconden en niet in meters?

'Houd twee seconden afstand'



De Rijksoverheid is kort geleden gestart met de publiekscampagne 'Houd 2 seconden afstand'. Tv-spots, billboards en een internetsite wijzen op de gevaren van bumperkleven en adviseren afstand te houden volgens de zogeheten 2-secondenregel.

▶ **figuur 34**
een nieuwsbericht

***44** In steeds meer steden worden 30 km-zones ingesteld.

a Een automobilist heeft een reactietijd van 1,0 s.
Bereken de reactieafstand als een automobilist 30 km/h rijdt.

b De remweg bij 30 km/h is 5,3 m.
Hoe lang is de stopafstand bij 30 km/h?

c Bereken de stopafstand bij 50 km/h. Schrijf de hele berekening op.

d De automobilist rijdt met 30 km/h door de bebouwde kom, als hij een fietser ziet aankomen uit een zijweg van rechts. Hij kan dan net op tijd stilstaan om de fietser voorrang te verlenen.
Met welke snelheid was de automobilist voorbij de zijweg gereden, als hij 50 km/h reed toen hij de fietser zag? Schrijf precies op hoe je aan je antwoord komt.

Plus Bescherming tegen botsingen

45 Auto's bevatten verschillende voorzieningen die moeten voorkomen dat de inzittenden bij een botsing letsel oplopen.
Noteer drie van die voorzieningen.

46 Bij een botsing wordt de voorkant van een auto 50 cm ingedrukt. Bovendien rekt de veiligheidsgordel van de chauffeur zover uit dat hij 30 cm naar voren schuift.

a Hoe groot is de 'remweg' van de inzittende?

b Wat zou er met de chauffeur gebeuren als hij geen gordel had gedragen? Op welk moment zou hij dan afgeremd zijn?

Practicum

Proef 1 Een stroboscopische foto maken 50 min

Inleiding
Het maken van een stroboscopische foto is vaak een goede manier om een beweging vast te leggen. Het mooie van zo'n foto is dat hij de hele beweging in één beeld samenvat. Sporters gebruiken zo'n foto om erachter te komen hoe ze een beweging exact uitvoeren. Zo kunnen ze ontdekken waar nog winst te behalen valt.

Doel
Bij deze proef ga je zelf een aantal stroboscopische foto's maken.

Nodig
- stroboscopische lamp
- camera met instelbare sluitertijd
- statief
- verduisterde ruimte met een donkere achtergrond

Uitvoeren en uitwerken
Werkverdeling
Een deel van de klas maakt de foto's. Dit zijn de fotografen. De andere leerlingen voeren om de beurt een beweging uit. Zij zijn de proefpersonen.

Voorbereiden
Instructie voor de proefpersonen:
- Bedenk welke beweging je straks gaat uitvoeren. Wees creatief en bedenk bewegingen die het 'goed doen' op een stroboscopische foto.
- Probeer de beweging uit. Let goed op je eigen veiligheid en op die van anderen.

Proefdraaien en instellen
Instructies voor de fotografen:
- Laat de proefpersoon zijn of haar beweging uitvoeren. Stel vast hoeveel tijd de te fotograferen beweging duurt.
- Stel de hoogte van het statief zo in dat de beweging goed in beeld komt.
- Stel de sluitertijd van de camera zo in dat de hele beweging gefotografeerd wordt.
- Stel de stroboscooplamp in op een geschikte waarde, tussen de 5 en 20 flitsen per seconde.

Uitvoeren
Instructies voor de fotografen:
- Vraag de proefpersoon die aan de beurt is, klaar te gaan staan.
- Druk de ontspanknop van de camera in en geef het startsein.
- Wacht tot de sluiter van de camera weer is gesloten.

1 Bekijk en beoordeel de foto.
  a Staat de beweging er duidelijk op?
  b Is de afstand tussen de verschillende beelden goed?
  c Had de sluitertijd de juiste waarde: niet te lang of te kort?

- Pas zo nodig de instellingen aan en maak nog een foto. Ga anders door naar de volgende proefpersoon.

2 Wat verandert er aan de foto als het aantal flitsen per seconde wordt verhoogd of verlaagd?
3 Wat verandert er aan de foto als de beweging langzamer wordt uitgevoerd?
4 Wat verandert er aan de foto als de sluitertijd langer of korter wordt?
5 Maak van één van de foto's die je hebt gemaakt een plaats-tijddiagram.

Proef 2 Bewegingen bestuderen 45 min

Inleiding

Als je een beweging wilt bestuderen, begin je ermee de beweging vast te leggen. Je gaat na waar het bewegende voorwerp is (= de plaats) op een aantal opeenvolgende tijdstippen (= de tijd). Na afloop kun je de gegevens op verschillende manieren verwerken.

Doel

Je gaat van vijf bewegingen de plaats en tijd vastleggen. Daarna ga je de gegevens verwerken tot een plaats-tijddiagram.

Nodig

- zes tot tien stopwatches
- startvlag
- krijtje
- touw van 10 m
- fiets
- werkblad 6-3

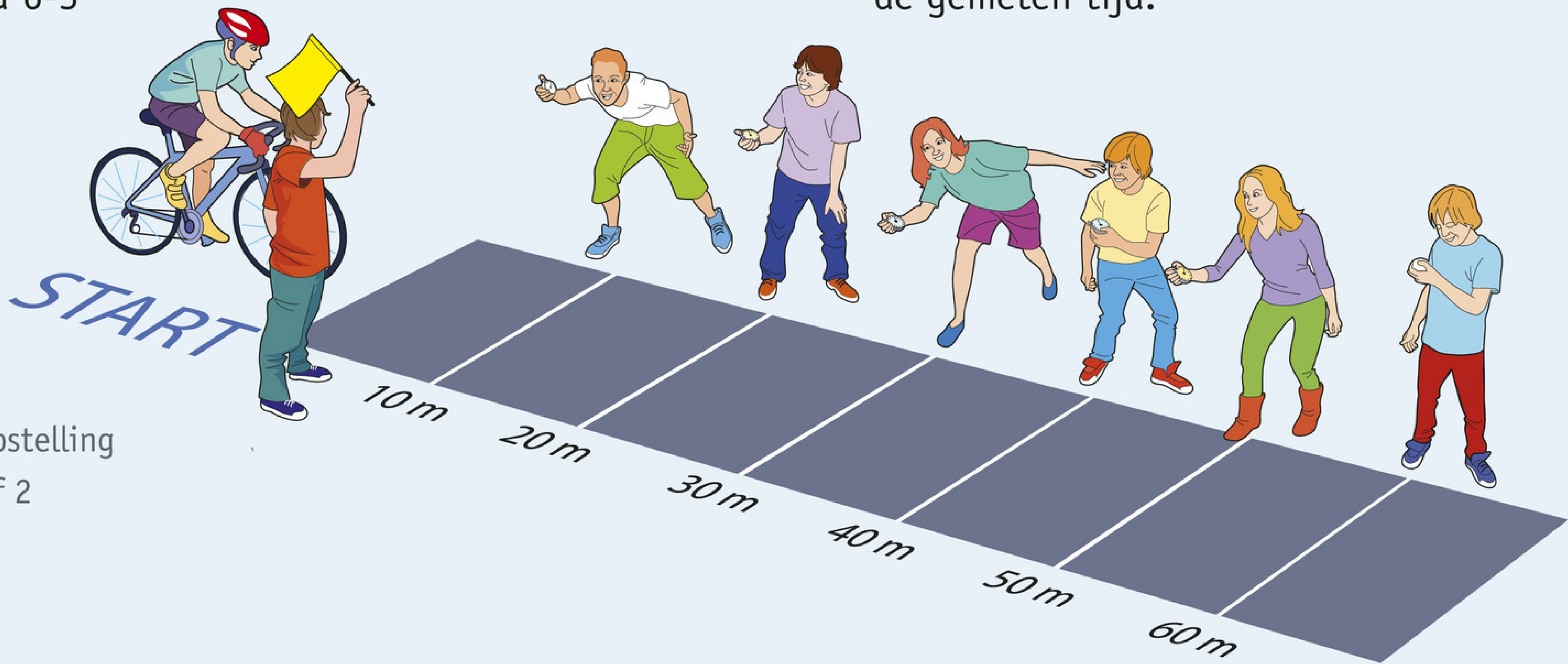
Uitvoeren en uitwerken

Voorbereiden

– Op een geschikte plaats is een baan van 60 tot 100 meter uitgezet, met om de 10 meter een krijtlijn (figuur 35).
– Bij de start gaat één leerling staan met de startvlag. Bij elke 10-meterlijn gaat één leerling staan met een stopwatch.

Uitvoeren

Elke keer wordt er als volgt gemeten:
– De starter zwaait de startvlag naar beneden om de beweging te laten starten. Op hetzelfde moment worden alle stopwatches gestart.
– Op het moment dat de wandelaar/sprinter/fietser een 10 meterlijn passeert, wordt de bijbehorende stopwatch stilgezet.
– Elke leerling met een stopwatch noteert ten slotte de gemeten tijd.



▶ **figuur 35** de meetopstelling voor proef 2

▼ **tabel 3** de plaats-tijdtabel van proef 1

	I	II	III	IV	V
plaats (m)	tijd (s)	tijd (s)	tijd (s)	tijd (s)	tijd (s)
0					
10					
20					
30					
40					
50					
60					
70					
80					
90					
100					

Zo ga je gegevens verzamelen over vijf bewegingen:
- Leerling I wandelt in een gewoon tempo.
- Leerling II sprint zo snel hij kan.
- Leerling III fietst in een kalm tempo.
- Leerling IV fietst zo snel mogelijk.
- Leerling V fietst zo snel mogelijk met een tweede leerling achterop.

Uitwerken
- Na afloop worden alle meetresultaten verzameld op het bord.

1 Neem tabel 3 over in je schrift.
Noteer alle meetresultaten op de juiste plaats in de tabel.

2 Pak werkblad 6-3 erbij. Teken het plaats-tijddiagram van elke beweging. Gebruik steeds een andere kleur.

- Beantwoord de volgende vragen nadat paragraaf 3 is behandeld.

3 Vergelijk jouw plaats-tijddiagrammen met de plaats-tijddiagrammen in paragraaf 3.
   a Bij welke beweging(en) is de snelheid min of meer constant? Waaraan zie je dat?
   b Bij welke beweging(en) kun je duidelijk zien dat de beweging in het begin versneld is? Waaraan zie je dat?

4 Bereken de gemiddelde snelheid van elke beweging, eerst in m/s en daarna in km/h.

Proef 3 Bewegingen vastleggen met een tijdtikker 45 min

Inleiding
Een tijdtikker is een apparaatje dat stippen zet op een strook papier: de tikkerband. Je maakt de tikkerband vast aan een voorwerp waarvan je de beweging wilt vastleggen. Tijdens de beweging wordt de tikkerband door de tikker getrokken. Die zet dan stippen op de band. Na afloop kun je aan de hand van die stippen nagaan, hoe het voorwerp heeft bewogen.

Doel
Je gaat met behulp van een tijdtikker een plaats-tijddiagram maken van een versnelde beweging, een eenparige beweging en een vertraagde beweging.

Nodig
- tijdtikker
- voedingskastje
- snoeren
- drukschakelaar
- drie stukken tikkerband van 60 cm
- liniaal
- werkblad 6-4

Uitvoeren en uitwerken
Voorbereiden
- Je doet deze proef met z'n tweeën.
- Sluit de tijdtikker via de schakelaar aan op het voedingskastje. Je docent vertelt je op hoeveel volt wisselspanning je het apparaat moet laten werken.
- Leg een strook tikkerband van 60 cm in de tijdtikker.

Uitvoeren
Meting 1 Een versnelde beweging
- Leerling 1 geeft het startsein en schakelt op dat moment de tijdtikker in.
- Leerling 2 trekt de strook met een steeds grotere snelheid door de tijdtikker.
  Let op! De hele beweging moet op de strook worden vastgelegd.
- Schrijf op de strook 'versnelde beweging'.
  Zet een B (van begin) bij de eerste stip op de strook.
  Zet een E (van eind) bij de laatste stip op de strook.

Meting 2 Een eenparige beweging
- Leg de tweede strook tikkerband in de tijdtikker.
- Leerling 1 geeft het startsein en schakelt op dat moment de tijdtikker in.
- Leerling 2 trekt de strook met constante snelheid door de tijdtikker.
- Schrijf op de strook 'eenparige beweging'.
  Zet een B bij de eerste stip op de strook.
  Zet een E bij de laatste stip op de strook.

Meting 3 Een vertraagde beweging

- Leg de derde strook tikkerband in de tijdtikker.
- Leerling 2 begint de strook met een flinke snelheid door de tijdtikker te trekken.
- Leerling 1 geeft meteen daarna het startsein en schakelt op dat moment de tijdtikker in.
- Leerling 2 trekt vanaf dat moment de strook met een steeds verder afnemende snelheid verder door de tijdtikker. (Oefen dit een paar keer, zonder de tijdtikker aan te zetten, voor je de proef echt doet.)
- Schrijf op de strook 'vertraagde beweging'. Zet een B bij de eerste stip op de strook. Zet een E bij de laatste stip op de strook.

Uitwerken

- Zet met potlood en liniaal een streep bij de eerste punt op de eerste strook.
- Tel vijf punten verder en zet weer een streep. Herhaal dit tot je bij het einde van de strook bent gekomen (zie figuur 36).
- Bewerk de andere twee stroken op dezelfde manier.

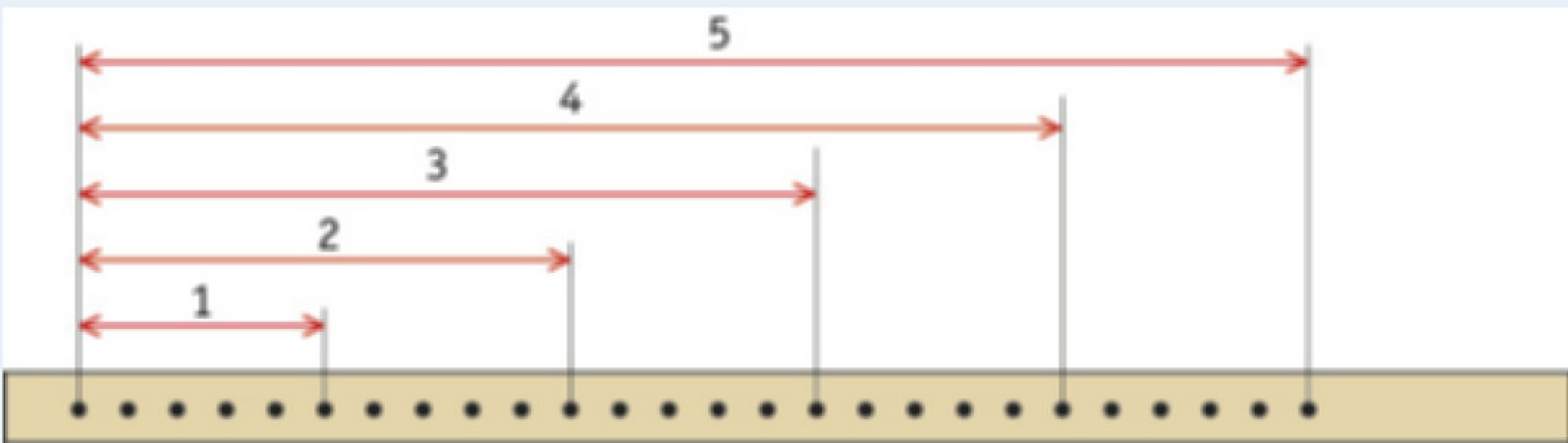
1 Neem tabel 4 over in je schrift.
Meet de afgelegde afstanden zoals in figuur 36 staat aangegeven.
Noteer de afstanden op de juiste plaats in de tabel.

2 Noteer in de tweede kolom van de tabel in hoeveel tijd elke afstand is afgelegd. Sommige tijdtikkers zetten vijftig stippen per seconde, andere honderd stippen per seconde. Je docent zal je vertellen hoe dat zit bij jouw tijdtikker.

3 Pak werkblad 6-4 erbij.
Teken een plaats-tijddiagram:
a van de versnelde beweging.
b van de eenparige beweging.
c van de vertraagde beweging.

4 Hoe ziet de grafiek eruit:
a van de versnelde beweging?
b van de eenparige beweging?
c van de vertraagde beweging?

5 Bereken de gemiddelde snelheden van de bewegingen die op de tikkerstroken zijn vastgelegd. Schrijf steeds de hele berekening op.



▲ **figuur 36**
Zo zet je de strepen op de tikkerband.

▼ **tabel 4** de meetresultaten van proef 3

		meting 1	meting 2	meting 3
afstand nummer	**tijd (s)**	**afstand(cm)**	**afstand(cm)**	**afstand(cm)**
0	0	0	0	0
1				
2				
3				
4				
5				
enz.				

Proef 4 De remweg van je fiets 45 min

Inleiding
Als je remt met je fiets, sta je niet meteen stil. Tijdens het remmen leg je nog een bepaalde afstand af. Deze afstand wordt de remweg genoemd.

Doel
Je voert een onderzoek uit naar de remweg van een fiets. De onderzoeksvraag is:
Hoe hangt de remweg van je fiets af van de beginsnelheid (de snelheid op het moment dat je begint te remmen)?

Nodig
- stopwatch
- meetlint
- fiets met handremmen
- twee houten blokjes
- touw
- werkblad 6-5

Uitvoeren en uitwerken
Voorbereiden
- Je doet deze proef met z'n tweeën: leerling 1 fietst, leerling 2 neemt de tijd op en meet de remweg.
- Maak de blokjes vast aan je stuur, zoals in figuur 37 is getekend. Je kunt dan elke keer met dezelfde kracht afremmen.
- Zet op het schoolplein of op een stille weg een afstand uit van 10 m.

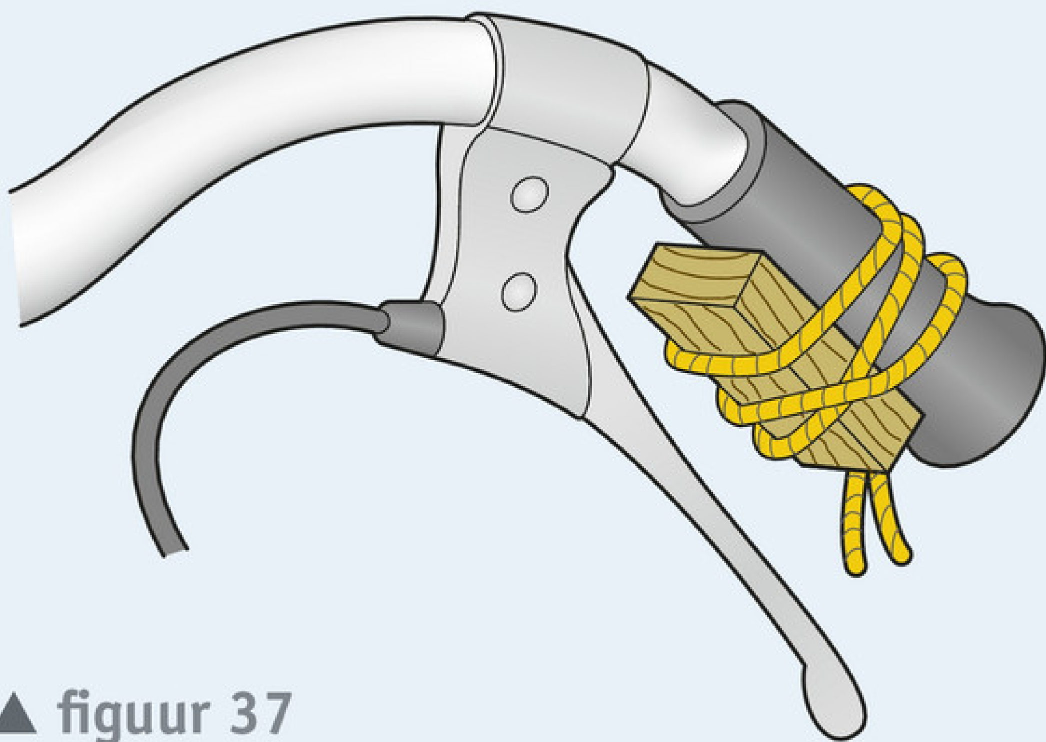
Uitvoeren
- Leerling 1 rijdt met een constante snelheid over het traject van 10 m. Na het passeren van de 10-meterlijn remt hij meteen af, tot hij stilstaat.
- Leerling 2 meet de tijd waarin leerling 1 de 10 m aflegt. Na afloop meet hij hoe lang de remweg is.
- Voer de genoemde metingen uit bij vijf verschillende snelheden (van heel langzaam tot zo snel mogelijk).

1 Neem tabel 5 over in je schrift.
Noteer alle meetgegevens in de tabel: de tijd in de eerste kolom en de remweg in de derde kolom.

Verwerken

2 Bereken de snelheid vóór het remmen bij elke meting. Noteer die snelheid in de tweede kolom van de tabel.

3 Pak werkblad 6-5 erbij. Maak een grafiek van je waarnemingen waarin je de remweg uitzet tegen de beginsnelheid (de remweg langs de verticale as, de beginsnelheid langs de horizontale as).



▲ **figuur 37** Zo kun je steeds met dezelfde kracht remmen.

▼ **tabel 5** de meetresultaten van proef 4

10 metertijd (s)	snelheid voor het remmen (m/s)	remweg (m)
-	0	0

Proef 5 De reactietijd 15 min

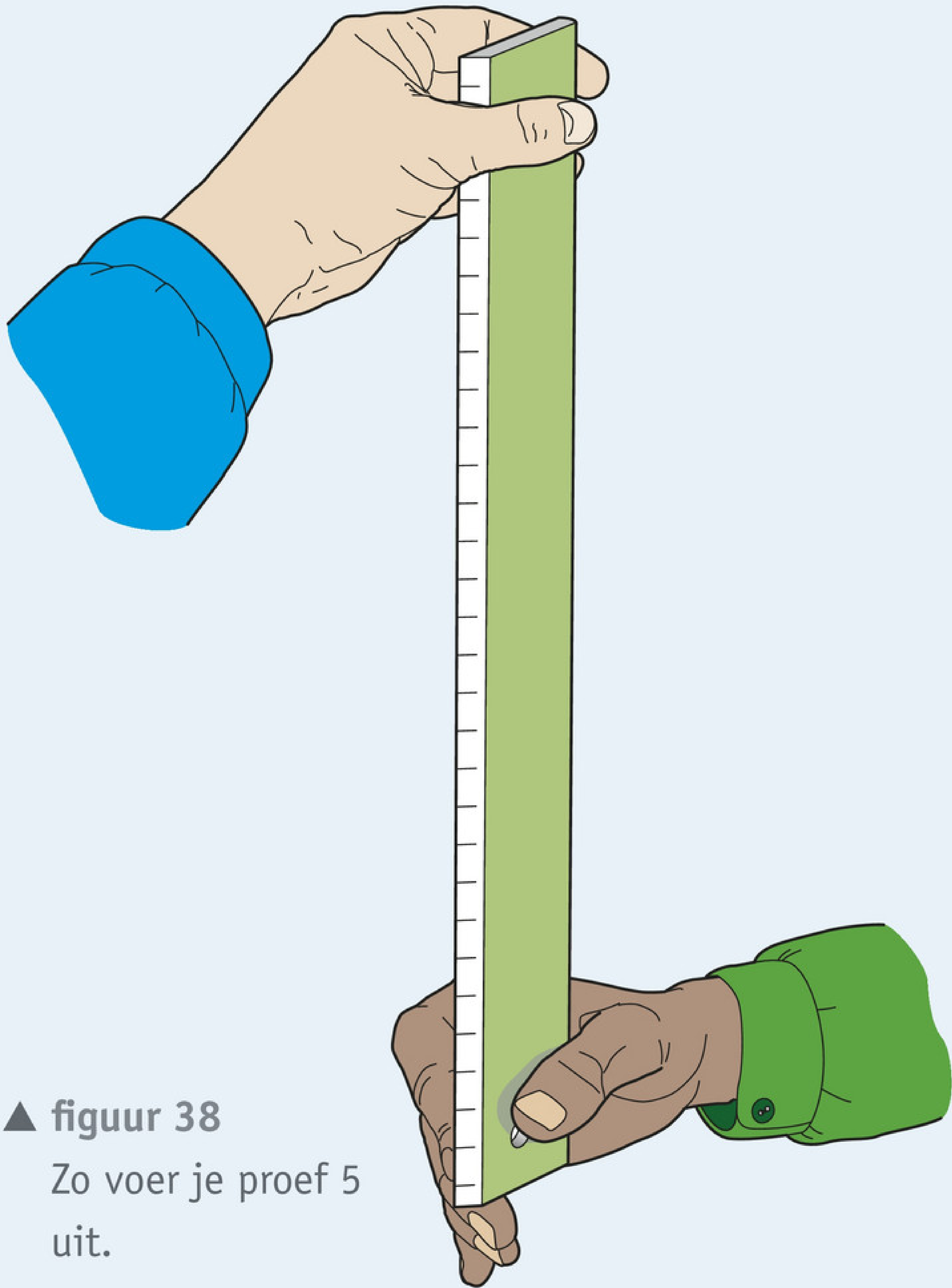
Inleiding
Je hebt het vast weleens meegemaakt: je fietst door een drukke straat en opeens rent iemand vlak voor je de weg op. Geschrokken knijp je de remmen in. Maar hoe snel je ook reageert, het duurt altijd even voordat je fiets begint te remmen. Die tijd tussen zien en remmen noem je de reactietijd.

Doel
Bij deze proef bepaal je hoe groot je eigen reactietijd is.

Nodig
- liniaal van 30 cm

Uitvoeren en uitwerken
Werkverdeling
Je voert deze proef met z'n tweeën uit. Leerling 1 is proefpersoon; leerling 2 is de tester. Halverwege de proef wissel je de rollen om.

Uitvoeren
– Leerling 2 houdt de liniaal bovenaan vast bij het 30 cm-streepje. Leerling 1 houdt duim en wijsvinger rond het 0 cm-streepje. Zie figuur 38.



▲ **figuur 38**
Zo voer je proef 5 uit.

– Opeens laat leerling 2 de liniaal los. De proefpersoon probeert de liniaal zo snel mogelijk met duim en wijsvinger te pakken.

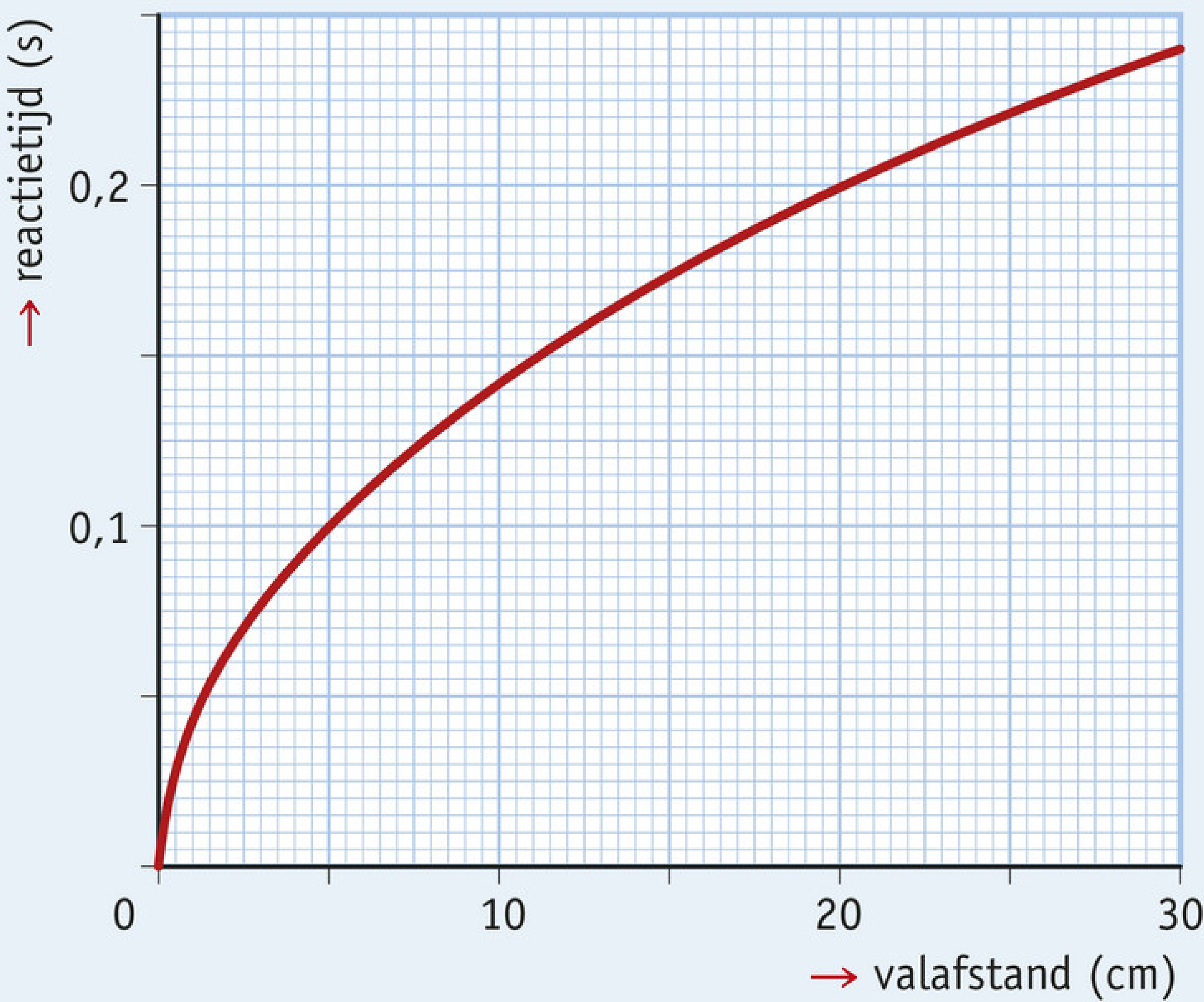
1 Neem tabel 6 over in je schrift.
Noteer de valafstand in de tabel. Deze afstand kun je direct op de liniaal aflezen.

▼ **tabel 6** de meetgegevens van proef 4

proefpersoon	valafstand (cm)	reactietijd (s)
leerling 1		
leerling 1		
leerling 1		
leerling 2		
leerling 2		
leerling 2		

– Doe deze proef in totaal drie keer. Wissel daarna de rollen om. Doe de proef nu drie keer met leerling 2 als proefpersoon.

Uitwerken
2 Zie figuur 39.
Lees bij elke valafstand de bijbehorende reactietijd af.
Noteer de reactietijd in de derde kolom van de tabel.



▲ **figuur 39**
het verband tussen de valafstand en de reactietijd

3 Reken hieronder de gemiddelde reactietijd uit:
  a van leerling 1.
  b van leerling 2.

4 Het is vaak belangrijk dat je een korte reactietijd hebt. Noteer een situatie waarin dat belangrijk is:
  a in het verkeer.
  b in de sport.

Proef 6 Een onderzoek uitvoeren – de lengte van de remweg 45 min

Inleiding
Stel je voor: in een televisieprogramma beweert een verkeersdeskundige dat het gevaarlijk is iemand achter op je fiets mee te nemen. Volgens deze persoon ben je niet alleen minder stabiel, maar is je remweg ook langer. “Dat zal wel zo zijn,” denk je, “maar die remweg: zou dat nou echt zoveel uitmaken? Dat moet te onderzoeken zijn ...”

Doel
Je gaat een antwoord zoeken op de onderzoeksvraag: *Met hoeveel procent neemt je remweg toe als je iemand achter op je fiets meeneemt?*

Nodig
Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat ga je precies meten, hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn? Tip: lees proef 4 nog eens door om op ideeën te komen.
- Bespreek met elkaar welke risico’s zich zouden kunnen voordoen. Hoe kun je ervoor zorgen dat je deze proef veilig kunt uitvoeren?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

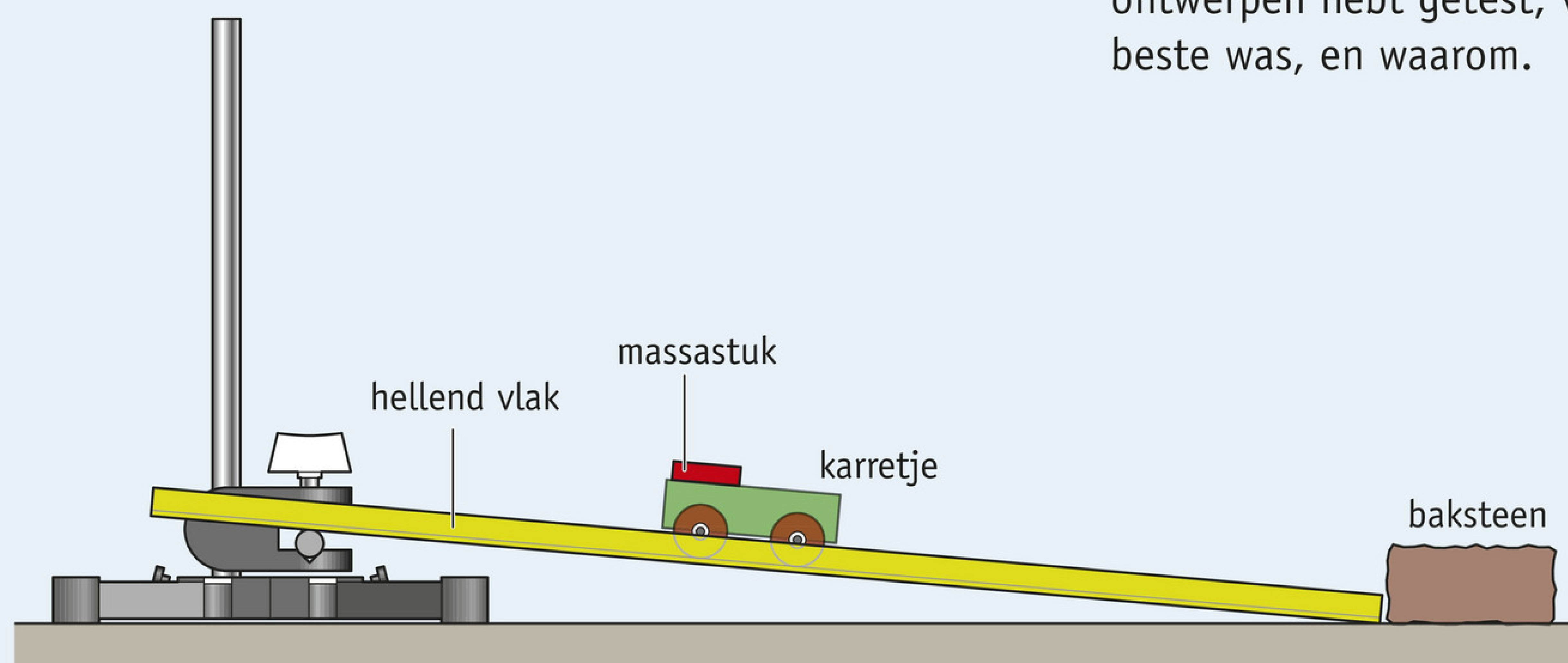
Proef 7 Een model van een kreukelzone ontwerpen 45 min

Inleiding
De kreukelzone van een auto vervormt gemakkelijk tijdens een botsing. Hierdoor wordt de ‘remweg’ voor de inzittenden langer gemaakt, zodat de klap van de botsing minder hard aankomt.

Doel
Je gaat een model van een kreukelzone ontwerpen en uitproberen.

Nodig
- karretje
- hellend vlak
- baksteen
- massastuk
- liniaal
- verschillende materialen (papier, karton, aluminiumfolie, plakband, enzovoort)

Uitvoeren en uitwerken
Voorbereiden
- Maak de opstelling die in figuur 40 getekend is.
- Leg het massastuk los op het karretje.
- Laat het karretje naar beneden rijden en tegen de baksteen botsen.
- Meet hoeveel centimeter het massastuk verschoven is.
- Maak de hellingshoek kleiner als het massastuk meer dan 8 cm verschoven is. Maak de hellingshoek groter als het massastuk minder dan 6 cm verschoven is.



▲ **figuur 40**
de opstelling van proef 7

- Herhaal de proef tot de verschuiving uitkomt tussen de 6 en 8 cm.

Uitvoeren
- Bedenk hoe je een kreukelzone voor op het karretje kunt bouwen, met de materialen die je tot je beschikking hebt.
- Bouw de kreukelzone en test hem uit. Je model moet aan de volgende ontwerpeisen voldoen:

Ontwerpeisen
- Door de kreukelzone wordt de verschuiving van het massastuk minstens twee keer zo klein.
- De kreukelzone heeft een zo klein mogelijke massa (want de auto mag beslist niet zwaarder worden dan nodig is).

- Verbeter je ontwerp, tot de kreukelzone aan de ontwerpeisen voldoet.
- Als je tijd genoeg hebt, kun je ook nog andere ontwerpen uitproberen. Probeer de hoeveelheid materiaal zo klein mogelijk te houden: hoe minder de kreukelzone weegt, hoe beter.

Presenteren
- Laat aan de klas zien hoe je kreukelzone eruitziet.
- Leg uit waarom je voor deze materialen en deze vorm gekozen hebt en hoe je het ontwerp hebt uitgetest en verbeterd. Als je verschillende ontwerpen hebt getest, vertel dan ook welke de beste was, en waarom.

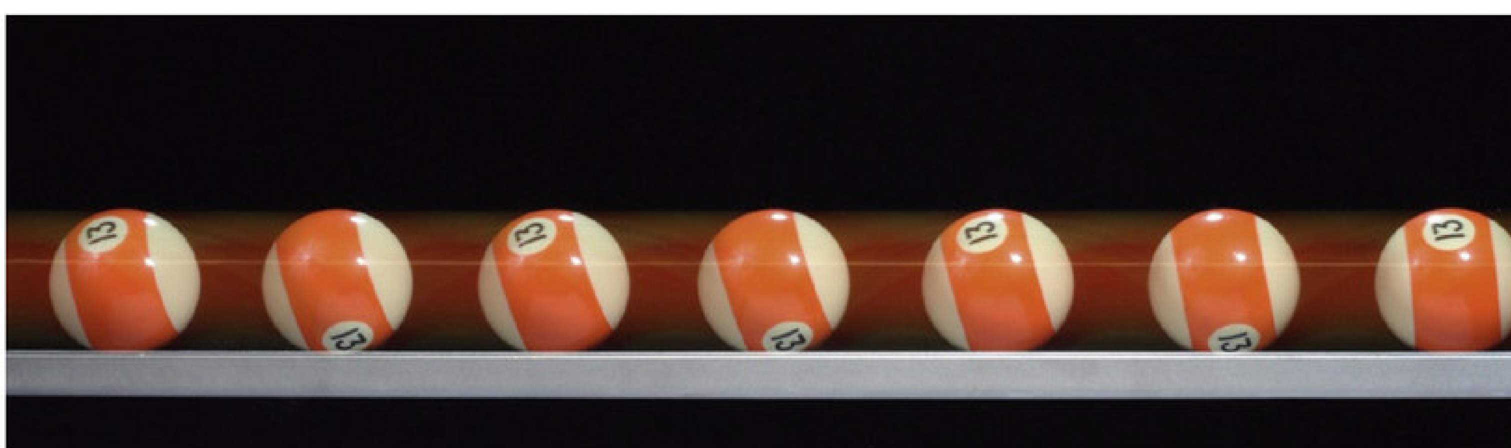
Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.

1 Muriël maakt een foto van een beweging. Daarbij gebruikt ze een lamp die met regelmatige tussenpozen een korte lichtflits geeft.
Hoe heet zo'n lamp?

2 Kevin heeft een video-opname van een vallende bal. Hij wil een plaats-tijdtabel maken van deze valbeweging.
Wat moet Kevin weten om dat te kunnen doen?
Kies uit:
- **a** Van welke afstand de opname gemaakt is?
  ja / nee
- **b** Wat de schaal van de videobeelden is?
  ja / nee
- **c** Hoe groot het aantal beelden per seconde is?
  ja / nee
- **d** Uit hoeveel opnames de opname bestaat?
  ja / nee

3 Bekijk de stroboscopische foto van een rollende bal in figuur 41. De stroboscoop gaf om de 0,1 s een flits.
Hoeveel tijdsverschil zit er tussen de eerste en de laatste opname?



▲ **figuur 41**
een rollende bal

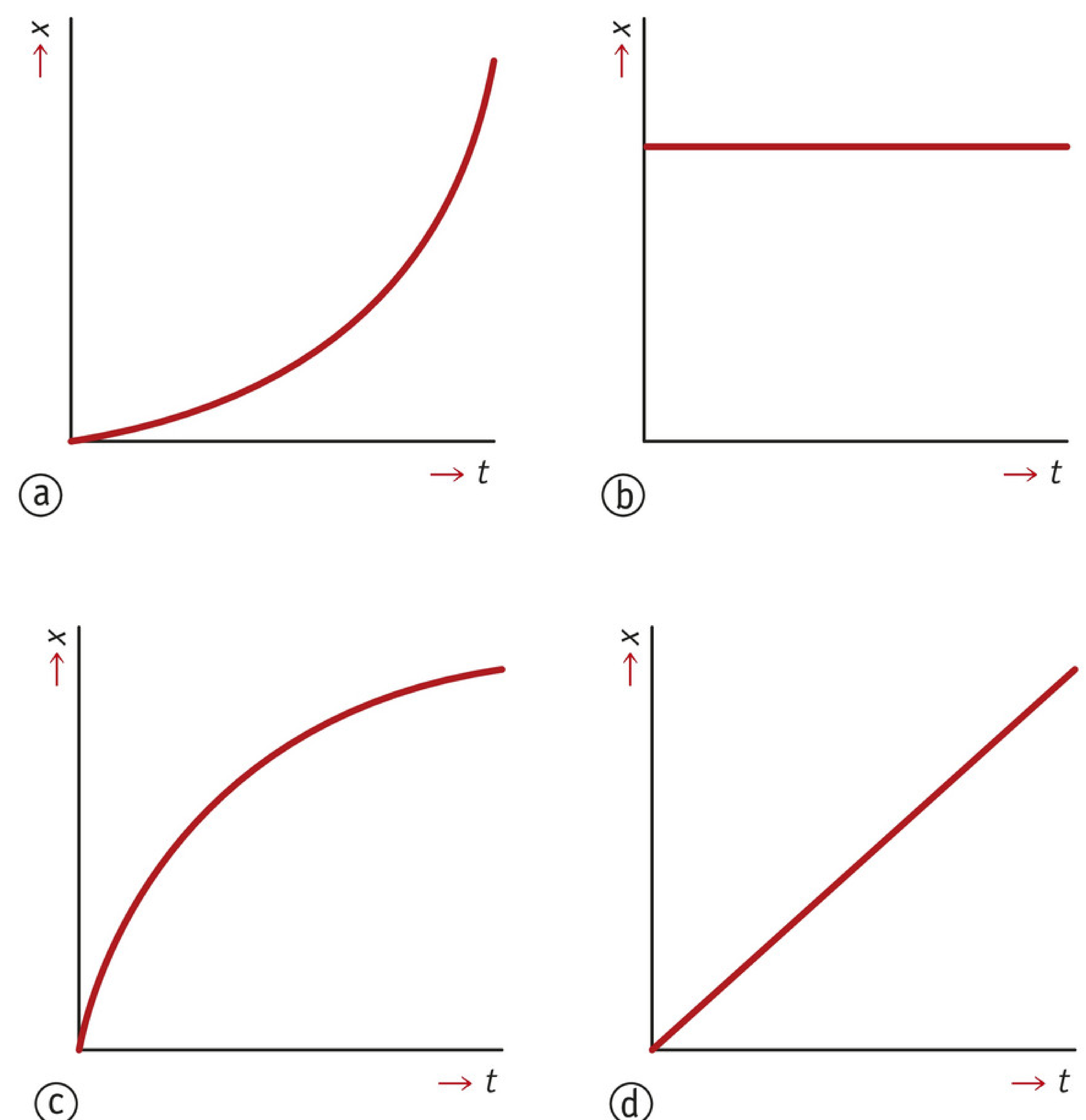
4 Neem over en vul in.
- **a** 36 km/h = … m/s
- **b** 126 km/h = … m/s
- **c** 10 m/s = … km/h
- **d** 23 m/s = … km/h

5 De *Varna Tempest* is een speciaal ontworpen ligfiets met een zeer lage luchtweerstand. In 2009 deed de Canadees Sam Whittingham 5,4 s over een testtraject van 200 m lengte.
Bereken de gemiddelde snelheid van de *Varna Tempest* in km/h.

6 Klaas-Jan neemt een strafschop: de bal verlaat de schoen richting rechterhoek met een snelheid van 90 km/h. De bal zal de doellijn passeren op 11,5 m van de penaltystip als de keeper niet reageert.
Bereken hoeveel tijd de keeper heeft om de bal tegen te houden.

7 Patrick fietst in twintig minuten rechtstreeks van huis naar school. Zijn gemiddelde snelheid is 18 km/h.
Hoe ver woont Patrick van school?
- A 6,0 km
- B 5,0 km
- C 3,6 km
- D 3,0 km
- E 1,2 km
- F 1,0 km

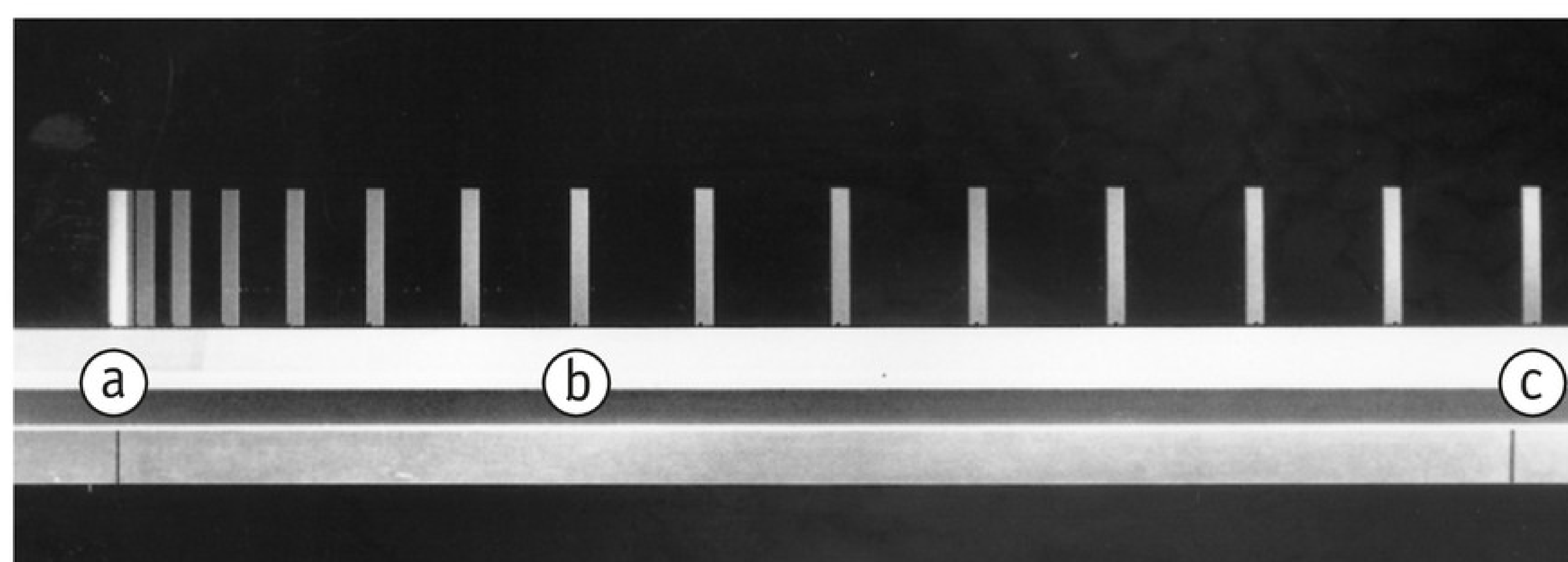
8 In figuur 42 zie je vier (x,t)-diagrammen van verschillende bewegingen.
Welk (x,t)-diagram:
- **a** hoort bij een eenparige beweging?
- **b** hoort bij een versnelde beweging?
- **c** hoort bij een vertraagde beweging?
- **d** hoort bij een stilstaand voorwerp?



▲ **figuur 42**
vier bewegingen

9 Een lift brengt zijn passagiers in 10 s van de begane grond naar de zestiende verdieping, op 50 m hoogte.
Welke bewering is juist?
- A De hoogste snelheid van de lift is groter dan 5 m/s.
- B De hoogste snelheid van de lift is precies 5 m/s.
- C De hoogste snelheid van de lift is kleiner dan 5 m/s.

10 In figuur 43 zie je een stroboscopische foto van een proef met een luchtkussenbaan. De beweging begint in a.
Kies steeds de juiste mogelijkheid.
- **a** Tussen a en b beweegt het voorwerp *eenparig / versneld / vertraagd*.
- **b** Tussen b en c beweegt het voorwerp *eenparig / versneld / vertraagd*.



▲ **figuur 43**
een stroboscopische foto van een proef met een luchtkussenbaan

11 Een groep leerlingen heeft de beweging van een fiets vastgelegd. De proef verliep als volgt:

> De leerlingen hebben een baan uitgezet van vijftig meter. Daarna zijn ze met een stopwatch langs de baan gaan staan, met tussenruimtes van tien meter. De stopwatches werden tegelijk gestart, toen de fietser de startlijn passeerde. Elke keer dat de fietser een leerling passeerde, drukte die zijn of haar stopwatch in.

In tabel 7 zie je de verzamelde meetgegevens.
Om wat voor beweging gaat het?
- A om een versnelde beweging
- B om een vertraagde beweging
- C om een eenparige beweging
- D Dat kun je op grond van deze gegevens niet zeggen.

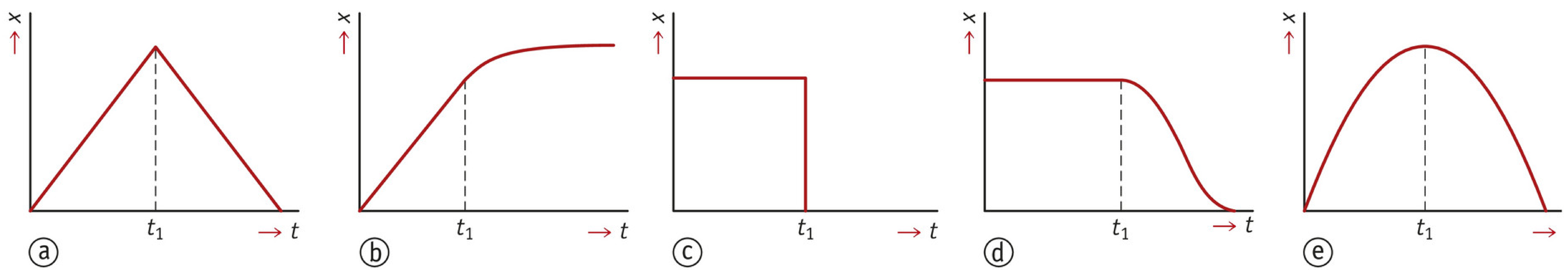
▼ **tabel 7** een plaats-tijddiagram van een fiets

tijd (s)	afstand (m)
0,0	0
1,26	10
3,11	20
4,93	30
7,37	40
11,43	50

12 Fokke rijdt met z'n vriendin achterop in de stromende regen van een steil viaduct af. De remweg van zijn fiets is onder deze omstandigheden veel langer dan gewoon.
Hoe komt dat?
Neem over en vul in.
- **a** Doordat hij z'n vriendin achterop heeft, is de totale massa … dan gewoon.
- **b** Doordat hij een steil viaduct afrijdt, is zijn snelheid … dan gewoon.
- **c** Doordat het hevig regent, is de remkracht van zijn fiets … dan gewoon.

13 Een automobiliste rijdt met 80 km/h over een doorgaande weg. Op moment t_1 ziet ze dat de vrachtauto voor haar een deel van zijn lading verliest. Ze reageert snel, maar toch duurt het even, tot moment t_2, dat de remmen van haar auto aanslaan. Enkele seconden later, op moment t_3, komt haar auto – nog net op tijd! – tot stilstand.
Hoe noem je de afstand die haar auto aflegt:
- **a** tussen moment t_1 en moment t_2?
- **b** tussen moment t_2 en moment t_3?
- **c** tussen moment t_1 en moment t_3?

14 Onder normale omstandigheden heeft een auto bij een snelheid van 80 km/h een remweg van 40 m. Hoe groot is de remweg onder dezelfde omstandigheden bij 40 km/h?



▲ **figuur 44**
Welk (x,t)-diagram geeft de juiste plaats van de scooter weer?

15 Ruben rijdt met zijn scooter met een constante snelheid over een rechte weg. Op tijdstip t_1 gaat hij remmen tot hij stilstaat.
In figuur 44 zie je vijf (x,t)-diagrammen.
In welk diagram is de plaats van de scooter juist weergegeven?

16 Dat een auto niet op tijd tot stilstand kan komen, kan verschillende oorzaken hebben. Bijvoorbeeld:
1 De bestuurder voerde een druk telefoongesprek.
2 De auto trok een zwaar beladen aanhangwagen.
3 Het wegdek was door de regen nat geworden.
4 De autobanden hadden bijna geen profiel meer.
5 De bestuurder had een paar glazen wijn op.
6 De auto reed sneller dan de snelheidsmeter aangaf.
a Welke omstandigheden beïnvloeden de reactietijd?
b Welke omstandigheden maken de remweg langer?

17 Janneke en haar broer Tom wonen op 800 m van school. Op een ochtend vertrekken ze tegelijk van huis: Tom gaat te voet en loopt steeds met een snelheid van 2,0 m/s. Janneke gaat op de fiets en fietst steeds met 8,0 m/s. Na 45 s loopt de ketting van de fiets vast: het repareren duurt 4,0 minuten. Daarna rijdt ze weer met 8,0 m/s verder.
a Teken van beide bewegingen het (x,t)-diagram.
b Op welk tijdstip haalt Tom Janneke in?
c Wie is het eerst op school en hoeveel meter moet de ander dan nog afleggen?

18 Bij snelheidscontroles wordt vaak gebruikgemaakt van een trajectmeting. Hierbij wordt met behulp van camera's over een afstand van 3,0 km aan het begin en het einde van het traject het passerende verkeer geregistreerd. Een computer berekent voor elke auto de gemiddelde snelheid. Als die snelheid hoger is dan de toegestane snelheid, krijgt de hardrijder automatisch een bekeuring thuisgestuurd.
a De maximale snelheid op een traject is 100 km/h. Bereken de kortste tijd die een auto over het traject mag doen.
b Een bepaalde automobilist rijdt op het traject op een zeker moment 160 km/h. Is het zeker dat hij bekeurd wordt? Licht je antwoord toe.
c Een andere automobilist rijdt de eerste helft van het traject 120 km/h. Bereken hoe hard hij op het tweede stuk (gemiddeld) mag rijden om net geen bekeuring te krijgen.

19 In figuur 45 zie je een stroboscopische foto van een speelgoedeend die weg wordt gegooid.
a Op welk moment bewoog de speelgoedeend het snelst en hoe zie je dat?
b Op welk moment bewoog de speelgoedeend het langzaamst en hoe zie je dat?

20 José en Sylvia rennen elkaar tegemoet. Op een bepaald moment (t = 0 s) zijn ze 45 m van elkaar af. Sylvia rent met een constante snelheid van 2,5 m/s. José rent met een constante snelheid van 3,5 m/s.
Bepaal met behulp van een grafiek na hoeveel seconden ze elkaar zullen ontmoeten.

▼ **figuur 45**
Een speelgoedeend wordt in de lucht gegooid.





Luchtacrobaten in SLOW MOTION

Een groep ganzen strijkt neer. Vlak voordat de vogels op het water landen, haalt een gans een verbluffend staaltje luchtacrobatiek uit. Het dier gaat op zijn rug vliegen, met de buik naar boven en de poten omhoog. Alleen de kop kijkt nog gewoon rechtuit, doordat de nek 180 graden is gedraaid. Het lijkt een unieke prestatie, maar niets is minder waar: een paar andere ganzen volgen meteen zijn voorbeeld.

Dat de vliegstunts van de ganzen in slow motion zijn vastgelegd, is te danken aan De Vliegkunstenaars, een uniek project van de Universiteit van Wageningen.
Bij dit project werden hogesnelheidscamera's uitgeleend aan vrijwilligers: natuurliefhebbers, hobbyfotografen, kunstenaars en andere belangstellenden. Ze kregen de opdracht mee om opnames te maken van luchtacrobatiek in de natuur.

De deelnemers aan het project filmden de meest uiteenlopende onderwerpen. Zo werden er opnames gemaakt van een vlieg die een salto maakt, van mussen die een luchtgevecht houden en van een bij die tegen een hommel botst. Onderzoekers gebruiken de beelden om te bestuderen hoe vogels en insecten vliegen. Normaal bewegen de vleugels veel te snel om dat goed te zien.

Slow motion

Een gewone video-opname, zoals een filmpje op *YouTube*, bestaat uit 24 tot 30 beeldjes per seconde. Als je zo'n opname op de gewone snelheid bekijkt, zie je niet de afzonderlijke beeldjes, maar een vloeiend bewegend beeld. Dat verandert wanneer je de opname tien keer vertraagd afspeelt. Dan zie je een opeenvolging van losse beeldjes die niet de suggestie wekken van een vloeiende beweging.

Een hogesnelheidscamera is gemaakt om bewegingen vast te leggen die met het blote oog niet te volgen zijn. Daarom legt zo'n camera veel meer beeldjes vast dan een gewone videocamera. Een opname kan bijvoorbeeld uit 300 beeldjes per seconde bestaan. Als je zo'n opname dan tien keer vertraagd afspeelt, lijkt een seconde 10 seconden te duren. Omdat er bij het afspelen 300 : 10 = 30 beeldjes per seconde te zien zijn, ziet de beweging er toch vloeiend uit.

Het vertraagd maar vloeiend weergeven van bewegingen wordt *slow motion* genoemd. Slow motion is niet alleen nuttig in de wetenschap, om snelle bewegingen vast te leggen en te onderzoeken. De techniek wordt ook vaak in films gebruikt, bijvoorbeeld om een dramatische scène nog indrukwekkender te maken of om bij een actiescène ieder detail te laten zien.

WEETJE

Eén van de bekendste slow-motion-scènes komt uit de film *The Matrix* (1999). In deze scène lijkt de camera om hoofdpersoon Neo heen te bewegen. Deze scène is niet gemaakt met één hogesnelheidscamera, maar met 120 verschillende camera's die ieder vlak na elkaar één beeldje opnamen.

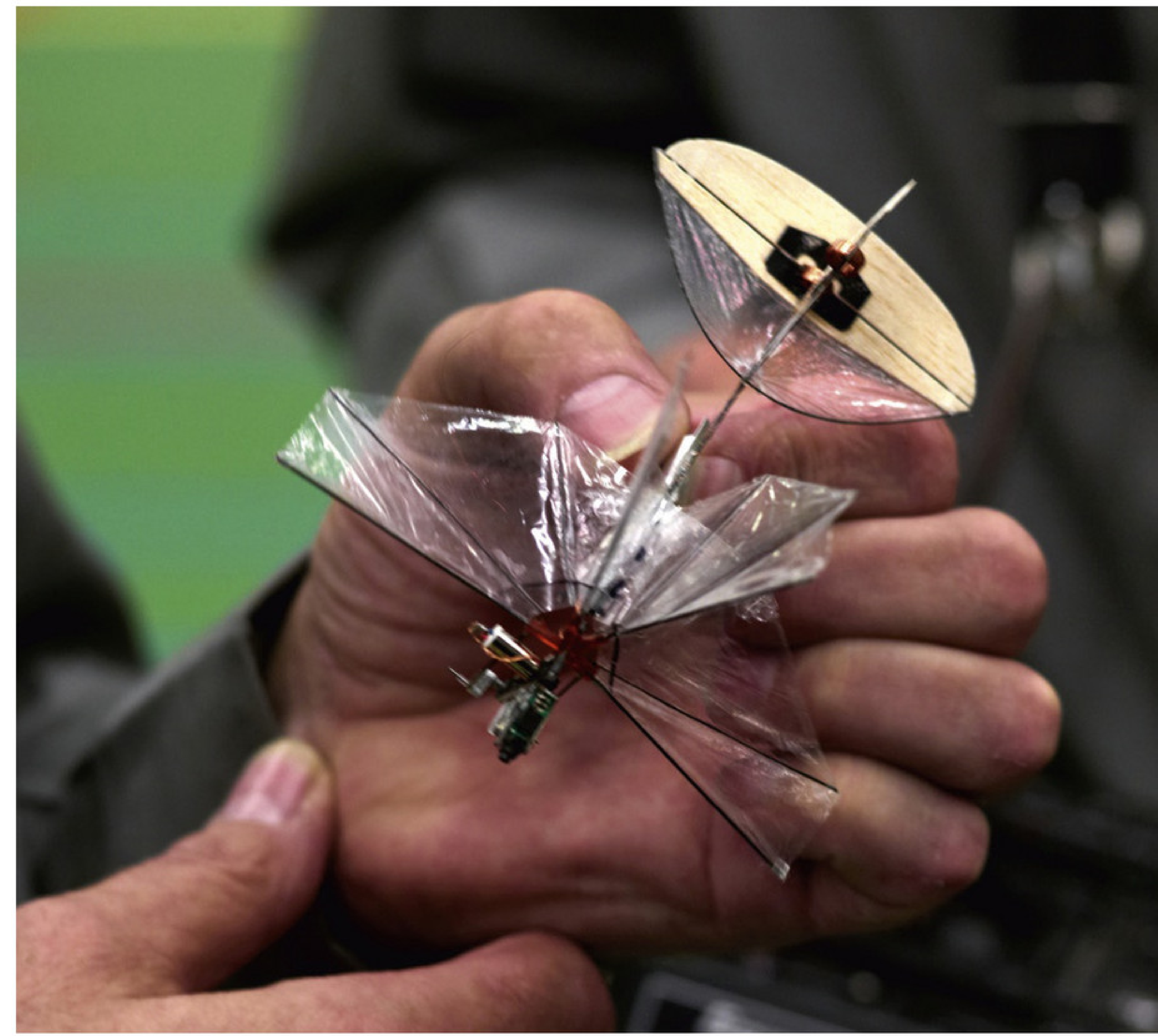


Vliegkunstenaars

Voor het project *De Vliegkunstenaars* werden meer dan tweeduizend filmpjes gemaakt door 460 vrijwilligers. De filmpjes zijn vrij beschikbaar op het internet en kunnen gebruikt worden voor spreekbeurten, voor wetenschappelijk onderzoek en voor alles daar tussenin! Daardoor kun je nu in alle rust genieten van de schitterende vliegbewegingen van alledaagse vliegkunstenaars om ons heen: van vlinder tot mus, van vleermuis tot helikopterzaadje.

De opnames hebben allerlei nieuwe informatie opgeleverd. Het was bijvoorbeeld al langer bekend dat ganzen af en toe op hun rug vliegen, maar veel meer wisten de onderzoekers er niet van; de ganzen voeren de manoeuvre zo snel uit dat die met het blote oog bijna niet te volgen is. Door een van de vrijwilligers werd dit gedrag nu voor het eerst met een hogesnelheidscamera gefilmd. Dankzij hem is de hele vliegbeweging nu in slow motion te volgen.





De onderzoekers in Wageningen zijn er vooral in geïnteresseerd hoe vleugels van vogels en insecten bewegen tijdens het vliegen. Slowmotionopnames zijn voor hen onmisbaar. David Lentink, die het project heeft opgezet: “We hebben bijvoorbeeld opnames van een wesp. Die heeft twee vleugelparen, net als andere insecten. Maar tijdens het flappen, het opwarmen voor het vliegen, haken de vleugels in elkaar, waardoor ze effectief nog maar twee vleugels hebben. Dat had ik nog nooit gezien.”

De vleugels van vogels en insecten functioneren heel anders dan de starre vleugels van een vliegtuig. Het zijn lichte, buigzame structuren die allerlei complexe bewegingen kunnen maken. De vleugels gaan tijdens het vliegen niet alleen op en neer, maar draaien ook en worden intussen op allerlei manieren vervormd. Al die bewegingen zijn wel effectief: veel vogels en insecten zijn echte luchtacrobaten, snel en enorm wendbaar.

Vliegen als een libel

Kennis zoals de onderzoekers in Wageningen die verzamelen, is niet alleen interessant voor natuurliefhebbers. Die kennis wordt tegenwoordig ook toegepast bij het ontwerpen van ultrakleine vliegtuigjes. De kleinste vliegtuigjes imiteren de manier van vliegen van vogels en insecten. Ze hebben geen grote vaste vleugels, zoals een gewoon vliegtuig, maar bewegende, flexibele vleugeltjes. Slowmotionopnames van vogels en insecten zijn enorm waardevol bij de zoektocht naar het optimale vleugelontwerp.

Die zoektocht begint inmiddels resultaten af te werpen. Zoals de *Delfly Micro*, een minivliegtuigje met een lengte van tien centimeter en een massa van drie gram, dat vliegt als een libel. Sinds 2008 is het officieel de kleinste vliegende robot met camera ter wereld. Het ontwerpteam van de Technische Universiteit in Delft hoopt dat de *Delfly Micro* de brandweer kan helpen brandhaarden in een gebouw te vinden of om overlevenden in ingestorte gebouwen op te sporen. Ook zou het robotje kunnen worden gebruikt door de politie om een huis in kaart te brengen voordat ze er een inval doen.

Inmiddels worden steeds meer robots ontwikkeld die vliegen als insecten of vogels. Aan de

Slowmotionopnames van vogels en insecten zijn enorm waardevol bij de zoektocht naar het optimale vleugelontwerp

universiteit van Leuven in België ontwikkelde student Frederik Leys de *Kulibrie*, een vliegende robot van vier gram, geïnspireerd op de manier van vliegen van een kolibrie. In de Verenigde Staten is een groep onderzoekers bezig de *Robobee* te ontwikkelen. Dat is een vliegende robot van minder dan 0,1 g die gebaseerd is op het vlieggedrag van bijen. Het is de bedoeling dat deze robobees, net als bijen, zich samen als een kolonie gaan gedragen.

Zo blijken filmpjes die met een hogesnelheidscamera zijn gemaakt, niet alleen interessante beelden op te leveren, maar ook tot verrassende inzichten te leiden. In de toekomst kunnen ultrakleine vliegtuigjes allerlei taken uitvoeren waarvan we nu alleen nog maar kunnen dromen – op basis van de luchtacrobatiek van vogels en insecten.



Klappende waterballon

Hogesnelheidscamera's worden ook voor allerlei ander onderzoek gebruikt. Er zijn bijvoorbeeld indrukwekkende filmpjes gemaakt van waterballonnen die knappen. Met het blote oog lijkt het alsof de ballon in één keer uit elkaar klapt en het water naar beneden valt. Met filmpjes die met hele hoge snelheid zijn opgenomen, is echter te zien dat de ballon eerst openscheurt en dat het water nog even in de vorm van de ballon blijft hangen.

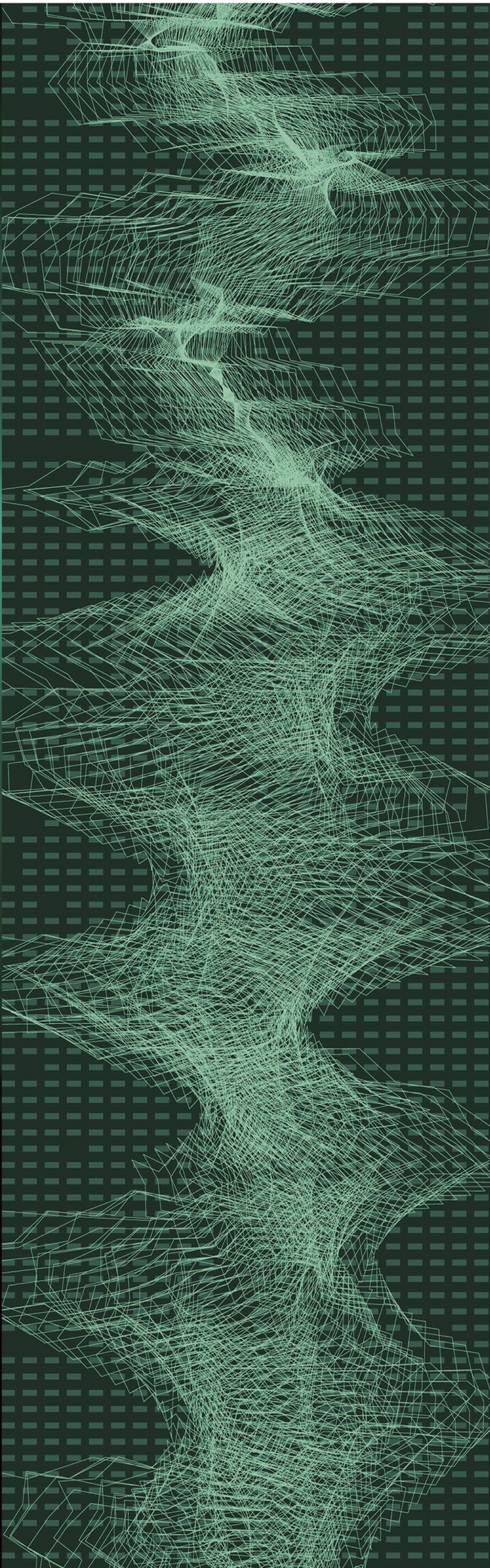
Opgaven

1 Een video is opgenomen met 450 beeldjes per seconde. De video wordt afgespeeld met 30 beeldjes per seconde.
- **a** Hoeveel langzamer lijkt de beweging die op de video is vastgelegd?
- **b** Er zijn al professionele camera's die kunnen filmen met een miljoen beeldjes per seconde.
  Hoeveel langzamer lijkt de beweging van zo'n camera als die wordt afgespeeld met dertig beeldjes per seconde?

2 De camera's van het project *De Vliegkunstenaars* maken zeshonderd beeldjes per seconde. Op een filmpje die met zo'n camera gemaakt is, doet een hommel er twaalf beeldjes over om 10 cm vooruit te komen.
Bereken de gemiddelde snelheid van de hommel. Geef je antwoord in m/s en in km/h.

3 De *Delfly Micro* kan drie minuten achter elkaar vliegen.
Leg uit wat de moeilijkheid is om zo'n klein vliegtuigje langer te laten vliegen.





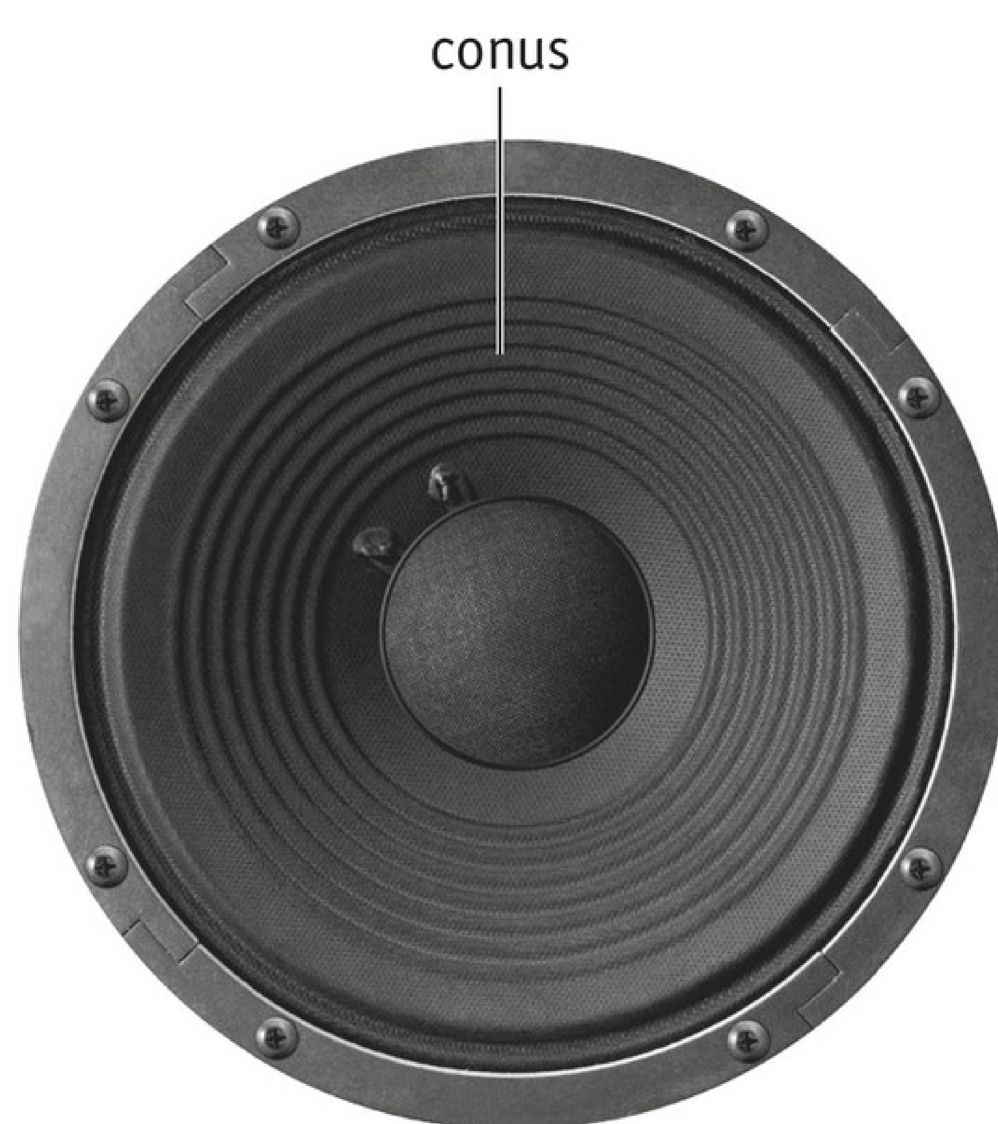
7 Geluid

Geluid om je heen

Een wereld zonder geluiden kun je je moeilijk voorstellen. Hoe zou de wereld zijn zonder muziek, zonder leuke gesprekken, zonder het geluid van de wind en de zee? Maar ook zonder de herrie van langsrazende auto's, opstijgende vliegtuigen en irritante buren?

1 Geluid maken en horen

In de natuur kom je allerlei geluiden tegen. Denk aan het rommelen van de donder, het ruisen van de zee en aan dierengeluiden. Ook mensen maken en veroorzaken geluid. Ze praten, zingen, schreeuwen, maken muziek, rijden in auto's en steken vuurwerk af, enzovoort.



▲ **figuur 1**
Als een luidspreker geluid geeft, kun je de conus voelen trillen.

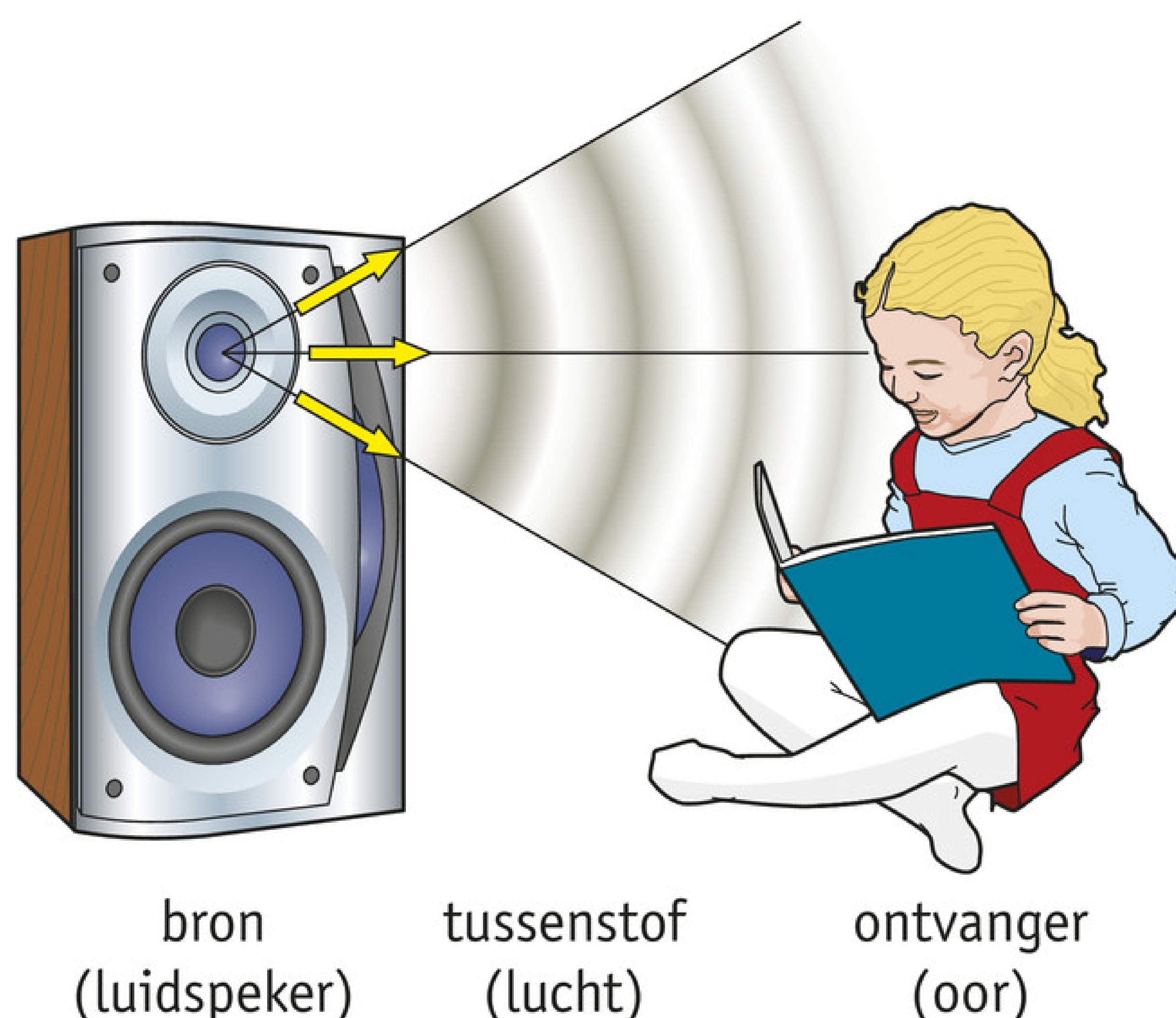
Geluidsbronnen Proef 1

Een voorwerp dat geluid maakt, noem je een **geluidsbron**. Veel geluidsbronnen zijn door mensen gemaakt, zoals muziekinstrumenten, vuurwerk, motoren en luidsprekers. Andere geluiden komen van natuurlijke geluidsbronnen, zoals het geluid van je stem, het zingen van vogels of het rommelen van de donder.

Geluid ontstaat door de trillingen in een geluidsbron:
- Bij je stem zijn het de stembanden in je keel die trillen.
- Bij een luidspreker is het de conus die trilt (figuur 1).
- Bij een gitaar zijn het de snaren (en de klankkast) die trillen.

Van geluidsbron naar je oren Proef 2

De conus van een luidspreker is een dun vel van papier of plastic. Als de luidspreker geluid geeft, beweegt de conus snel heen en weer. Daardoor ontstaan er drukverschillen in de lucht. Als de conus naar buiten beweegt, worden de moleculen dichter op elkaar gedrukt (waardoor de luchtdruk stijgt). Als de conus naar binnen beweegt, krijgen de moleculen juist meer ruimte (waardoor de luchtdruk daalt). In figuur 2 is getekend hoe het geluid van een luidspreker zich verspreidt.



▲ **figuur 2**
De drukveranderingen bewegen van de geluidsbron naar de ontvanger.

Doordat de moleculen voortdurend met elkaar botsen, geven ze hun beweging aan elkaar door. De beweging van de moleculen vlak bij de conus wordt doorgegeven aan de moleculen die zich verder van de conus bevinden. Hierdoor bewegen de drukveranderingen in alle richtingen bij de luidspreker vandaan. Als de drukveranderingen je oren bereiken, hoor je het geluid.

Je kunt een geluid alleen horen als er een **tussenstof** (medium) is: een stof waardoor de trillingen zich kunnen verplaatsen van de geluidsbron naar je oren. De meeste geluiden bereiken je oren via de lucht. Maar geluid kan zich ook verplaatsen door een vloeistof of een vaste stof. Het geluid van je stem hoor je bijvoorbeeld niet alleen buitenom (via de lucht), maar ook binnendoor (via je schedel). Dove mensen kunnen het ritme van muziek soms voelen, bijvoorbeeld via een discovloer.

Geluidssnelheid

Geluid heeft tijd nodig om zich door een stof te verplaatsen. Hoe snel het geluid zich verplaatst, verschilt van stof tot stof. In lucht is de **geluidssnelheid** ongeveer 340 m/s. Dat is meer dan 1200 km/h!

Je kunt geluid gebruiken om de afstand te berekenen tussen de geluidsbron en de ontvanger. Daarvoor moet je de geluidssnelheid kennen en weten (of meten) hoe lang het geluid erover deed om van bron naar ontvanger te bewegen. Daarna gebruik je de formule:

afstand = (geluids)snelheid × tijd

of in symbolen:

$s = v \cdot t$

Als je de geluidssnelheid v invult in meter per seconde en de tijd t in seconde, vind je de afstand s in meter. In tabel 1 kun je zien hoe groot de geluidssnelheid in verschillende stoffen is.



▲ **figuur 3**
Het geluid van de donder komt nu met een snelheid van 340 m/s naar je toe.

Voorbeeldopgave 1
Inge maakt een wandeling aan het einde van een warme dag. Ze ziet in de verte de bliksem inslaan (figuur 3). Ze telt drie seconden voor ze de donder hoort.
Hoe groot is de afstand van Inge tot de blikseminslag?

gegevens v = 343 m/s
t = 3 s

gevraagd s = ?

uitwerking $s = v \cdot t$
= 343 × 3
= 1029 m

De afstand is dus ongeveer 1 km.

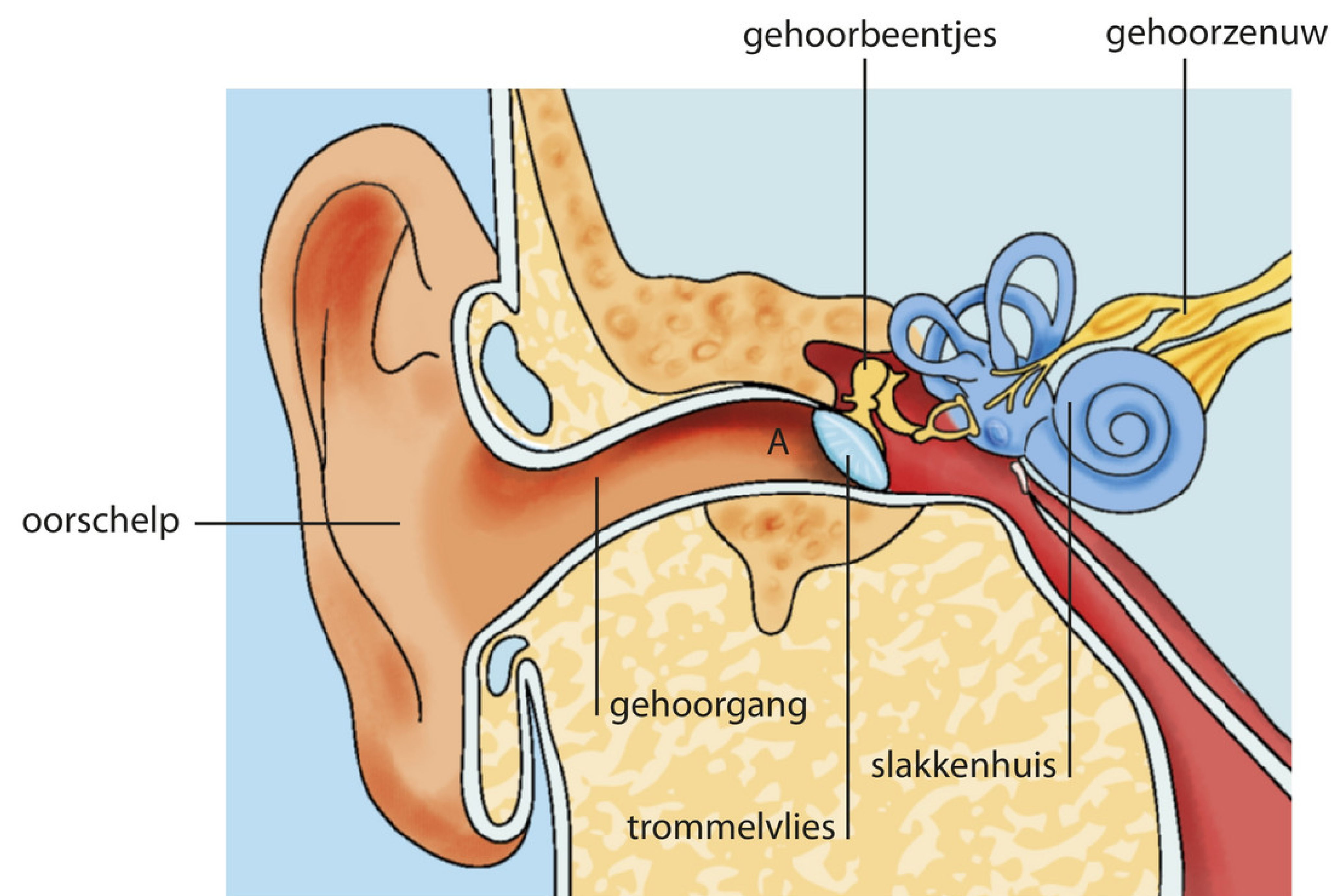
Zoals je ziet, hoef je geen rekening te houden met de tijd die het licht nodig heeft om bij je ogen te komen. De lichtsnelheid is namelijk heel groot: ongeveer 300 000 km/s!

▼ **tabel 1** de geluidssnelheid in enkele vaste stoffen, vloeistoffen en gassen bij 20 °C

stof	geluidssnelheid (m/s)
vaste stoffen	
beton	4300
glas	4000–4500
kurk	500
rubber	50
staal	5100
vloeistoffen	
alcohol	1170
water	1480
zeewater	1510
gassen	
helium	965
koolstofdioxide (CO_2)	259
lucht	343

Geluid horen

In figuur 4 is het inwendige van een oor getekend. Als de geluidsgolven het oor bereiken, zal het trommelvlies mee gaan trillen:
- Het trommelvlies beweegt naar binnen, als de luchtdruk bij A hoger wordt.
- Het trommelvlies beweegt naar buiten, als de luchtdruk bij A lager wordt.



▶ **figuur 4**
het inwendige van je oor

Op die manier trilt het trommelvlies mee met de veranderingen in de luchtdruk. De gehoorbeentjes brengen de trillende beweging van het trommelvlies over op de vloeistof in het slakkenhuis. Daarbij wordt het geluid versterkt.

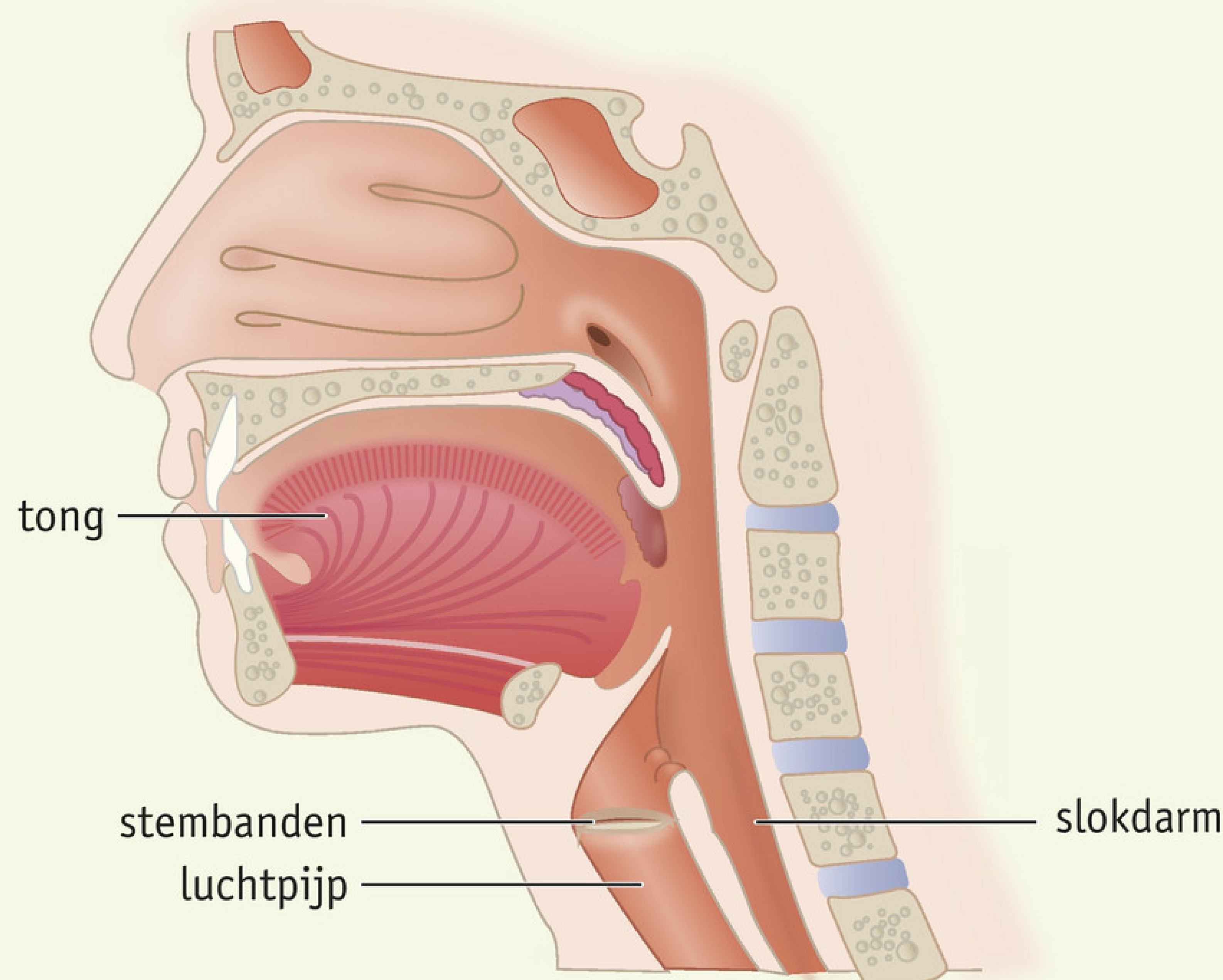
In het slakkenhuis worden de trillingen door de gehoorcellen vertaald in elektrische signalen. Deze signalen worden via de gehoorzenuw doorgegeven naar de hersenen. Pas als je hersenen die signalen ontvangen, word je je van het geluid bewust: je hoort het geluid.

Plus De menselijke stem Proef 3

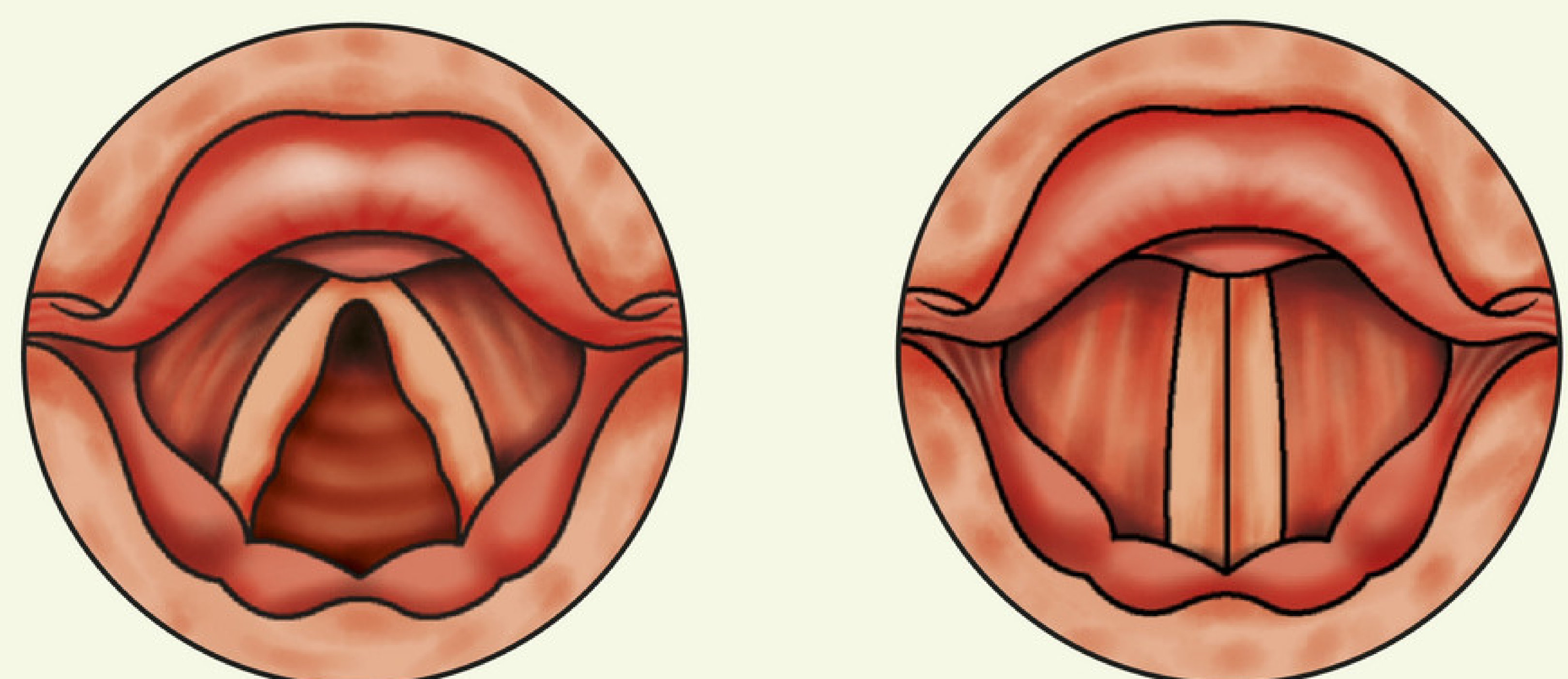
Het 'spraakorgaan' bestaat uit de stembanden, de mond-, keel- en neusholte en de tong en lippen (figuur 5). Als je spreekt, sluiten je stembanden. Je longen persen dan lucht door de stemspleet: een smalle opening tussen je stembanden (figuur 6). Hierdoor beginnen je stembanden te trillen, zoals je kunt voelen als je een vinger op je keel legt.

Met spiertjes kun je de spanning van je stembanden veranderen. Zo kun je de toonhoogte van je stem regelen. Door de vorm van je mondholte te veranderen kun je het geluid van je stembanden vervormen. Maak bijvoorbeeld eerst een lange a-klank ('aa') en dan een lange o-klank ('oo'). Je voelt de vorm van je mondholte dan veranderen.

Je kunt trouwens ook klanken maken zonder je stembanden te gebruiken. Dat doe je bijvoorbeeld als je een 's' of een 'p' maakt. Voor een 'p' sluit je de luchtstroom af met je lippen, zodat er zich achter de lippen druk opbouwt. Die druk laat je daarna los door je lippen te ontspannen. Het resultaat is een 'explosie' van naar buiten stromende lucht.



▲ **figuur 5**
je spraakorgaan



▲ **figuur 6**
Zo werken je stembanden.

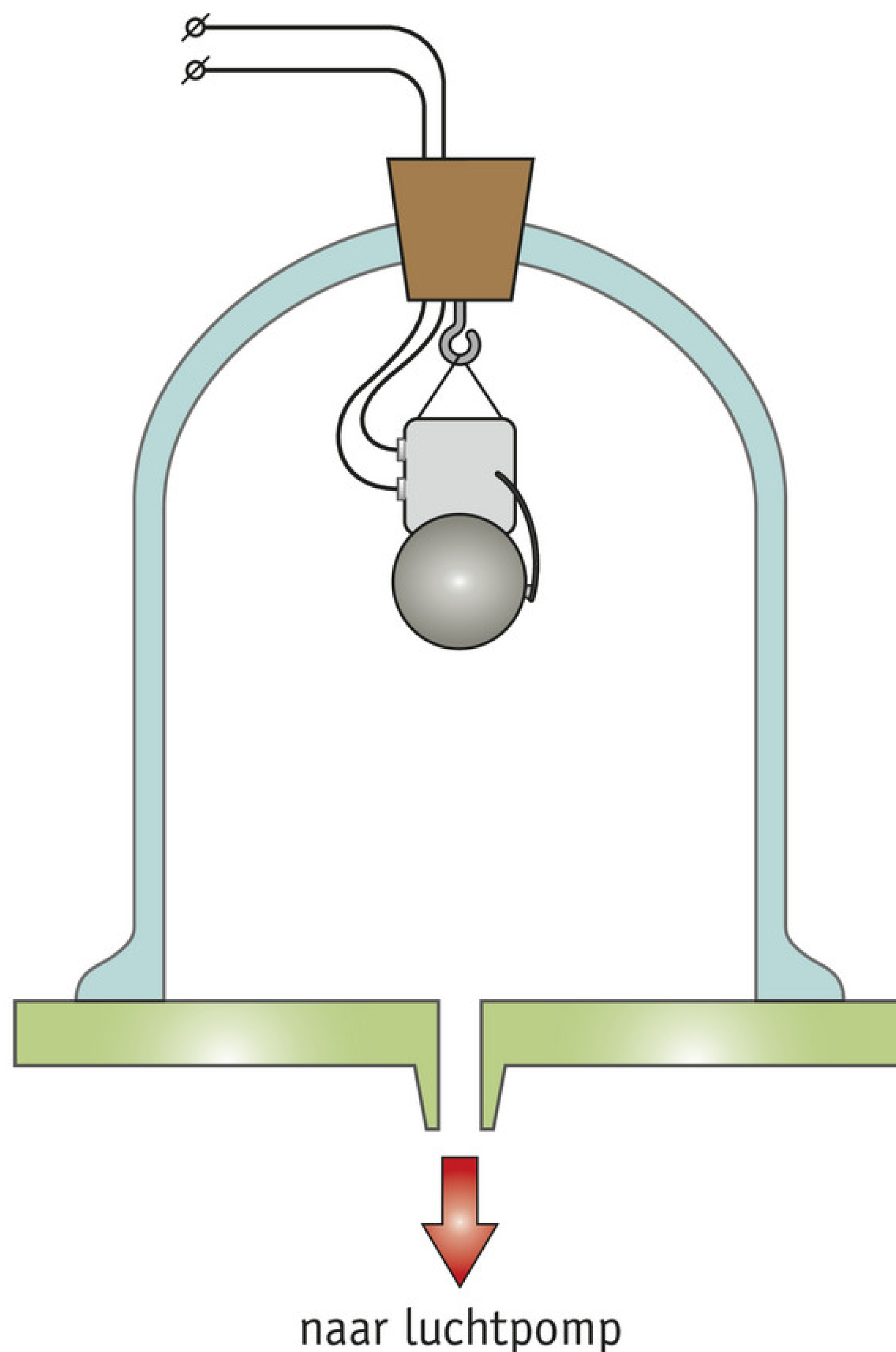
opgaven **Leerstof**

1 Geluid wordt veroorzaakt door trillingen. Wat trilt er:
- **a** in een akoestische gitaar waarop wordt gespeeld?
- **b** in een luidspreker als daar muziek uit komt?
- **c** in je keel als je aan het praten of zingen bent?

2 Een luidspreker is een voorbeeld van een geluidsbron.
- **a** Wat ontstaan er in de lucht, als de conus begint te trillen?
- **b** Hoe verplaatst het geluid zich van de luidspreker naar je oren?
- **c** Welk deel van je oor gaat trillen als het geluid daar aankomt?
- **d** Waar in je oor worden de trillingen vertaald in elektrische signalen?

Toepassing

3 In strips over het wilde westen zie je soms dat iemand zijn oor op de rails legt om een trein al van ver te horen aankomen.
- **a** Door welke tussenstof verplaatst het geluid zich dan?
- **b** Met welke snelheid verplaatst het geluid zich door die stof?
- **c** Een trein bevindt zich op 3 km afstand van de persoon die met zijn oor op de rails ligt.
  Bereken hoe lang het geluid van de trein erover doet om die persoon te bereiken.



▲ **figuur 7**
een bel onder een stolp

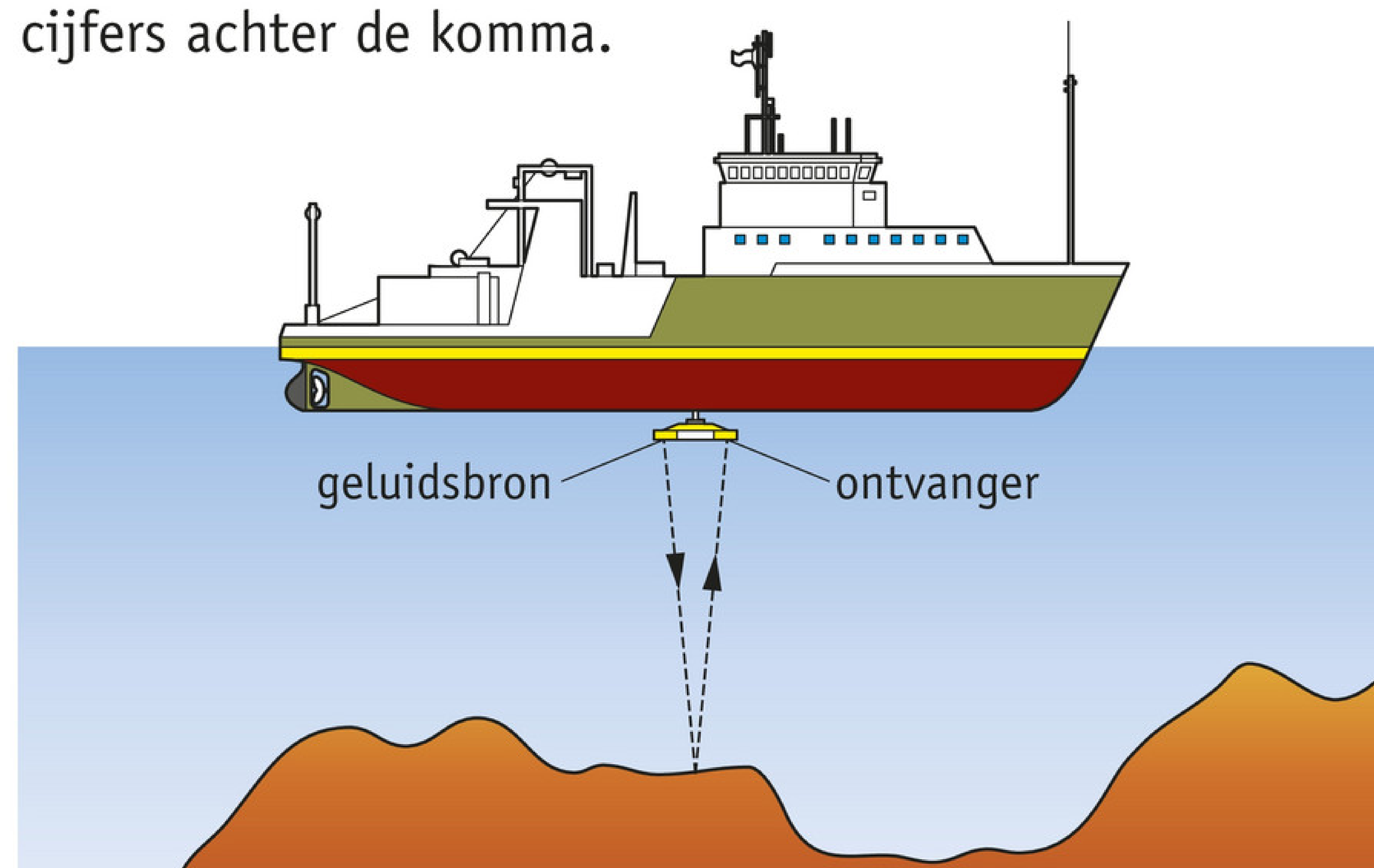
4 Hans maakt de opstelling die in figuur 7 getekend is. Hij laat de bel rinkelen. Ondertussen pompt hij de lucht onder de stolp weg.
- **a** Hoe verandert het geluid dat Hans hoort?
- **b** Hoe komt dat?

5 Een arts gebruikt een stethoscoop om naar de hartslag van een patiënt te luisteren.
Door welke drie tussenstoffen heeft het geluid zich verplaatst voor het bij de trommelvliezen van de arts aankomt?

6 Het onweert in de verte. Fatima ziet een bliksemflits. Acht seconden later hoort ze het geluid van het onweer.
Bereken hoe ver het onweer van Fatima verwijderd is. Geef je antwoord in kilometers.

7 Gerrie beweert: "Je kunt eenvoudig nagaan hoe ver een onweersbui bij je vandaan is. Tel het aantal seconden tussen een bliksemflits en de donder en deel dit aantal door drie. De uitkomst is de afstand in kilometers."
- **a** Hoe lang doet het geluid volgens Gerrie over 1 km?
- **b** Klopt dit met de geluidssnelheid die in tabel 1 vermeld staat? Laat dat zien met een berekening.

8 Een schip gebruikt geluid om de diepte van de zee te meten. Het sonarsysteem zendt een korte geluidspuls uit en vangt even later het teruggekaatste signaal (de echo) weer op. Bekijk figuur 8. Tussen het uitzenden van het geluid en het ontvangen van de echo zit 0,42 s.
Bereken hoe diep de zee is, in kilometers. Rond het antwoord af op twee cijfers achter de komma.



▶ **figuur 8**
Hoe diep is de zee?

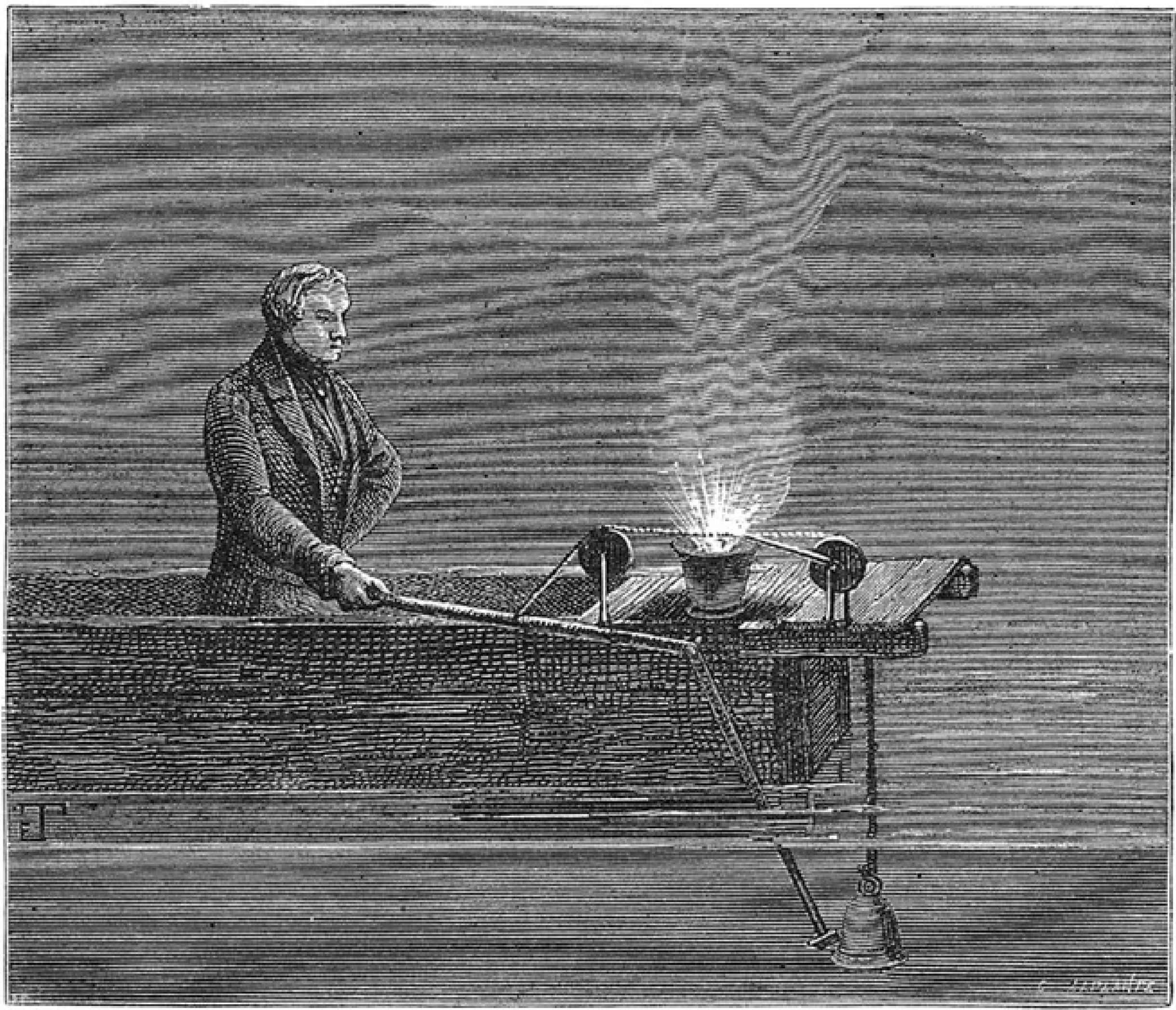
***9** Een gebouw heeft betonnen muren van 50 cm dik. Aan de binnenkant van de muur zit een laag kurk van 10 cm dik. Fleur zit op 3 m van de muur. Aan de buitenkant klopt iemand tegen de muur.
Bereken hoe lang het geluid erover doet om Fleur te bereiken. Rond het antwoord af op twee cijfers achter de komma.

***10** In 1827 bepaalden de natuurkundigen Colladon en Sturm op het meer van Genève de snelheid van geluid in water. Ze gebruikten een bel en een buis. Met de bel konden ze onder water geluid maken en met de buis konden ze onder water naar het geluid luisteren. Tegelijk met de tik op de bel werd er een lichtflits gegeven (figuur 9). Ze maten dat het geluid van de bel er 9,3 s over deed om een afstand van 13,4 km onder water af te leggen.

- **a** Waarom hoefden ze geen rekening te houden met de tijd die het licht erover doet om hun te bereiken?
- **b** Welke waarde vonden ze voor de geluidssnelheid in water?
- **c** De geluidssnelheid hangt af van de temperatuur van het water. Hoe koud is het water van het meer ongeveer geweest? Gebruik tabel 2.

▼ **tabel 2** de geluidssnelheid in water bij verschillende temperaturen

temperatuur water (°C)	geluidssnelheid (m/s)
0	1403
20	1484
40	1529
60	1540
80	1555




▶ **figuur 9** Colladon en Sturm aan het werk.

Plus De menselijke stem

11 Mensen kunnen met hun spraakorgaan allerlei geluiden maken.
Waar ontstaat het geluid:

- **a** als je fluit?
- **b** als je kucht?
- **c** als je de klank ‘ssss’ maakt?
- **d** als je de letter ‘ee’ uitspreekt?

12 Harmen is gefilmd tijdens een spreekbeurt. Als hij het filmpje bekijkt, is hij niet blij met wat hij hoort. “Mijn stem klinkt heel anders dan ik hem zelf hoor als ik aan het praten ben,” moppert hij.
Hoe komt het dat je stem anders klinkt, als je hem op een opname hoort?
Tip: denk aan de tussenstoffen die hierbij een rol spelen.

2 Toonhoogte en frequentie

Als je een geluid wilt beschrijven, kun je verschillende woorden gebruiken. Vaak hebben die woorden met de toonhoogte te maken. Je kunt bijvoorbeeld zeggen dat een kapotte luidspreker piept (een hoge toon maakt), bromt (een lage toon maakt) of zoemt (tussen hoog en laag in). Blijkbaar is de toonhoogte een belangrijke eigenschap van het geluid.



▲ figuur 10
Een gitarist verandert de toonhoogte door de snaarlengte te veranderen.

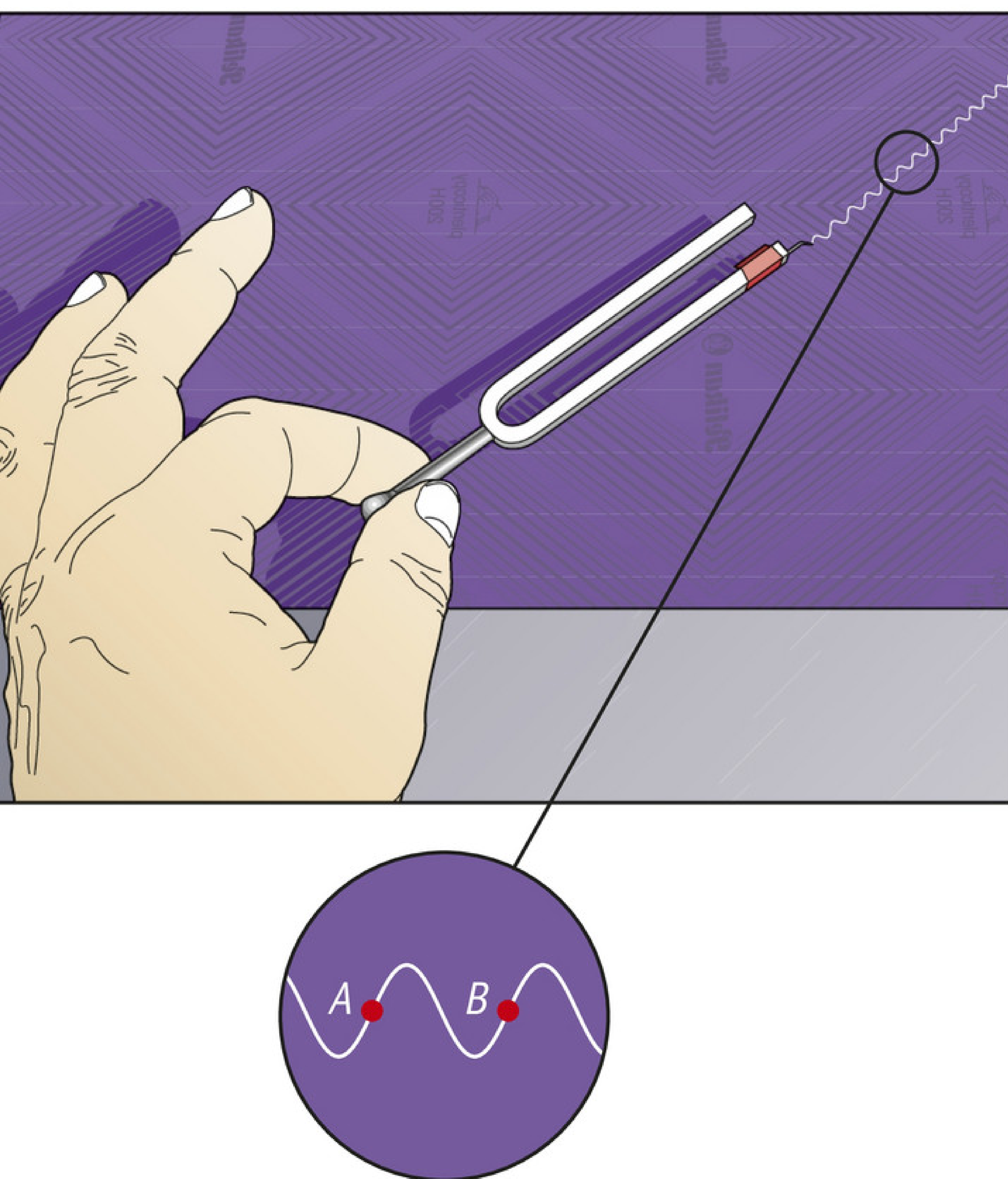
Snaarinstrumenten Proef 4

Snaren worden gebruikt in allerlei muziekinstrumenten. Een viool heeft bijvoorbeeld vier snaren, een gitaar heeft er zes en een piano heeft er meer dan tweehonderd. Als je zo'n snaar in trilling brengt, geeft hij een toon: een geluid met een bepaalde toonhoogte. De meeste mensen kunnen zo'n toon zonder veel moeite nazingen.

De hoogte van de toon die een snaar produceert, hangt af van drie factoren:

1 de **dikte** van de snaar: hoe dikker de snaar, des te lager de toon.
2 de **lengte** van de snaar: hoe langer de snaar, des te lager de toon.
3 de **spanning** van de snaar: hoe lager de spanning, des te lager de toon.

Een snaarinstrument wordt **gestemd** door de snaren de juiste spanning te geven (figuur 10). Voor het bepalen van de juiste toonhoogte kun je een stemvork of een elektronisch stemapparaat gebruiken.



▲ figuur 11
Zo kun je de trilling van een stemvork zichtbaar maken.

Frequentie Proef 5

Als je een stemvork aanslaat, beginnen de benen van de stemvork te trillen. Ze bewegen in één seconde steeds even vaak heen en weer. Je kunt deze beweging onderzoeken met een stemvork waar een haakje aan bevestigd is. Daarvoor moet je de stemvork aanslaan en het haakje over een beroete glasplaat trekken. Je ziet dan een golfspoor ontstaan.

In figuur 11 zie je een stukje van zo'n golfspoor. Tussen A en B heeft de schrijfstift één volledige trilling uitgevoerd. Als je de stemvork met het haakje precies één seconde over de glasplaat trekt, zie je een groot aantal trillingen. Als je ze telt, weet je hoe groot het aantal trillingen per seconde is. Dit wordt de **frequentie** (*f*) van de trilling genoemd.

De frequentie wordt gemeten in hertz (Hz). Als de frequentie 128 Hz is, bewegen de benen van de stemvork 128 keer per seconde heen en weer. Hoe hoger de frequentie, des te hoger is de toon die je hoort.

Een stemvork van 440 Hz geeft bijvoorbeeld een hogere toon dan een stemvork van 128 Hz. Met een toongenerator kun je de frequentie van een toon instellen.

Trillingstijd Proef 6

Met de opstelling van figuur 12 kun je geluidstrillingen onderzoeken. De **microfoon** 'vertaalt' de drukverschillen van het geluid in een elektrisch signaal. De **oscilloscoop** geeft dit signaal vervolgens op het scherm weer. Zo kun je onderzoeken hoe snel de druk van de lucht verandert. Er zijn ook programma's die van je computer, tablet of smartphone een oscilloscoop maken.

Op het scherm van de oscilloscoop is een assenstelsel aangebracht. Langs de horizontale as is de tijd uitgezet. Met een knop op de oscilloscoop kun je de tijdschaal instellen. Dat heet: een **tijdbasis** kiezen. In figuur 12 is de tijdbasis ingesteld op 1 ms/div. Dat betekent dat elk vakje één milliseconde 'breed' is.

De vier trillingen op het scherm van de oscilloscoop beslaan samen negen vakjes. De vier trillingen duren dus in totaal 9 × 1 = 9 ms. Dat betekent dat er voor één trilling 9 : 4 = 2,25 ms nodig is. De tijd die voor één volledige trilling nodig is, wordt de **trillingstijd** (T) genoemd. Je zegt dat de stemvork in figuur 12 een trillingstijd heeft van 2,25 ms.

Trillingstijd en frequentie

Als je de trillingstijd kent, kun je de frequentie berekenen. Als de trillingstijd 0,1 s is, gaan er 10 trillingen in 1 s. De frequentie is dan 10 Hz. Als de trillingstijd 0,01 s is, gaan er 100 trillingen in 1 s. De frequentie is dan 100 Hz. Enzovoort.



▶ **figuur 12**
Zo kun je de trillingstijd van een stemvork bepalen.

Je kunt de frequentie dus uitrekenen met de formule:

$$\text{frequentie} = \frac{1}{\text{trillingstijd}}$$

Of in letters:

$$f = \frac{1}{T}$$

Als je de trillingstijd T invult in seconde, vind je de frequentie f in hertz (Hz).

Voorbeeldopgave 2
Bereken de frequentie van de stemvork in figuur 12.

gegevens T = 2,25 ms = 0,00225 s

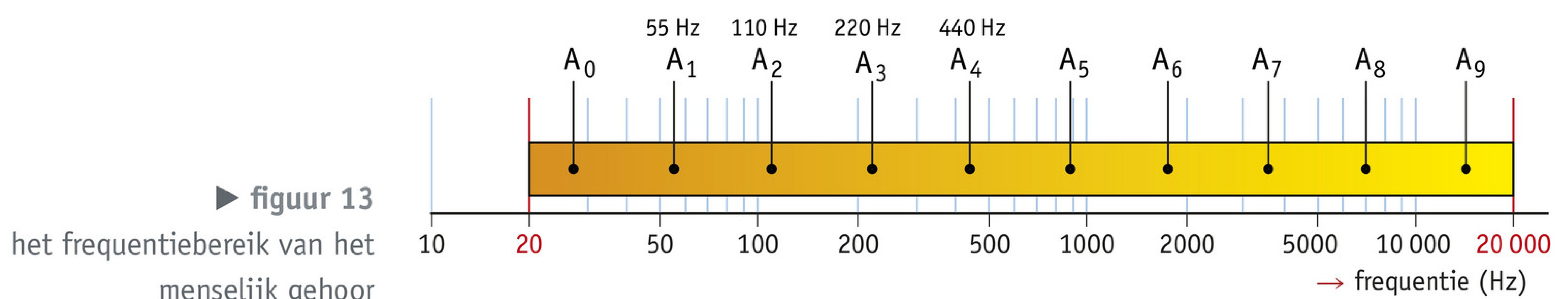
gevraagd f = ?

uitwerking $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}00225} \approx 444$ Hz

Het frequentiebereik van je gehoor

Als je de A-snaar van een gitaar aanslaat, hoor je een vrij lage bastoon van 110 Hz. Deze toon noem je een A. Als je daarna een toon van 220 Hz speelt, hoor je weer een A. Al is deze A hoger, voor je gevoel is het toch dezelfde toon. Je zegt dat deze toon een octaaf hoger is dan de eerste. Speel je daarna een toon van 440 Hz, dan hoor je weer een A: één octaaf hoger dan de A van 220 Hz en twee octaven hoger dan de A van 110 Hz.

Voor elke toon geldt: als je de frequentie verdubbelt, krijg je dezelfde toon weer terug, maar dan één octaaf hoger. Daarom worden frequenties vaak weergegeven op een speciale schaal (figuur 13). Op deze schaal heeft een octaaf steeds dezelfde lengte. De afstand tussen 110 Hz en 220 Hz is dus even groot als de afstand tussen 220 Hz en 440 Hz, of tussen 440 Hz en 880 Hz.



▶ **figuur 13**
het frequentiebereik van het menselijk gehoor

Geluiden met een heel hoge of een heel lage frequentie kun je niet horen. De meeste mensen van jouw leeftijd horen tonen tussen 20 en 20 000 Hz. Je zegt dat deze tonen binnen het **frequentiebereik** van je gehoor liggen. Als je ouder wordt, verandert het frequentiebereik van je gehoor. Vooral hoge tonen kun je dan minder goed horen.

Plus Ultrasoon en infrasoon geluid

Geluid met een frequentie hoger dan 20 000 Hz wordt **ultrasoon** geluid genoemd. Mensen kunnen dit geluid niet horen, maar sommige diersoorten wel. Honden horen bijvoorbeeld zonder moeite een ultrasone fluittoon van 35 000 Hz. Vleermuizen en dolfijnen maken regelmatig ultrasone geluiden. Door te luisteren naar de echo's van deze geluiden kunnen ze hun omgeving waarnemen. Vleermuizen sporen op deze manier insecten op (figuur 14). In ziekenhuizen wordt ultrasoon geluid gebruikt om echo's te maken, waarmee je bijvoorbeeld bij een zwangere vrouw het kind in de baarmoeder kunt zien.



Geluid met een lagere frequentie dan 20 Hz wordt **infrasoon** geluid genoemd. Het is geluid dat je niet kunt horen. Je kunt het wel voelen als het hard genoeg is. Olifanten kunnen door middel van infrasoon geluid over grote afstanden met elkaar communiceren.

◀ **figuur 14**
Een vleermuis jaagt met geluid.

opgaven **Leerstof**

13 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Wat wordt bedoeld met 'de frequentie van een trilling'?
- **b** In welke eenheid wordt de frequentie gemeten?
- **c** Wat wordt bedoeld met 'het frequentiebereik van je gehoor'?
- **d** Wat is het frequentiebereik van jonge mensen met een gewoon gehoor?

14 Hoe verandert de toonhoogte van een gitaarsnaar als de gitarist:
- **a** de snaar minder strak spant?
- **b** de snaar korter maakt door zijn vinger op de snaar te zetten?

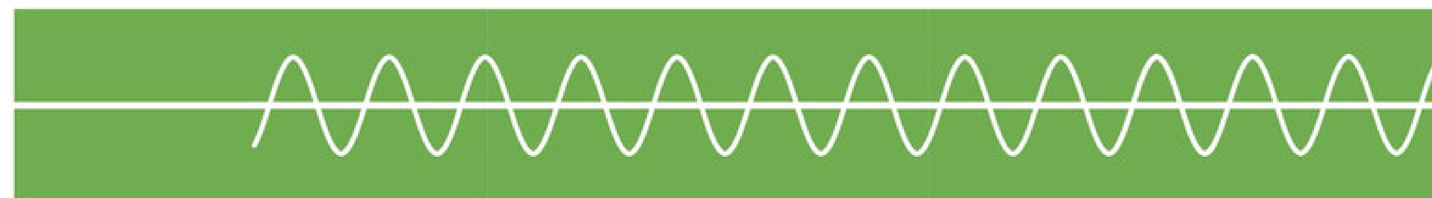
15 Twee snaren zijn even lang. Toch klinkt de ene snaar lager dan de andere. Schrijf twee mogelijke oorzaken op.

Toepassing

16 Een pianostemmer gebruikt een stemsleutel om de pianosnaren strakker of losser te draaien. Als eerste wordt een snaar gestemd die een toon moet geven van 440 Hz.
Leg uit wat de pianostemmer moet doen, als de snaar een toon geeft van 445 Hz.

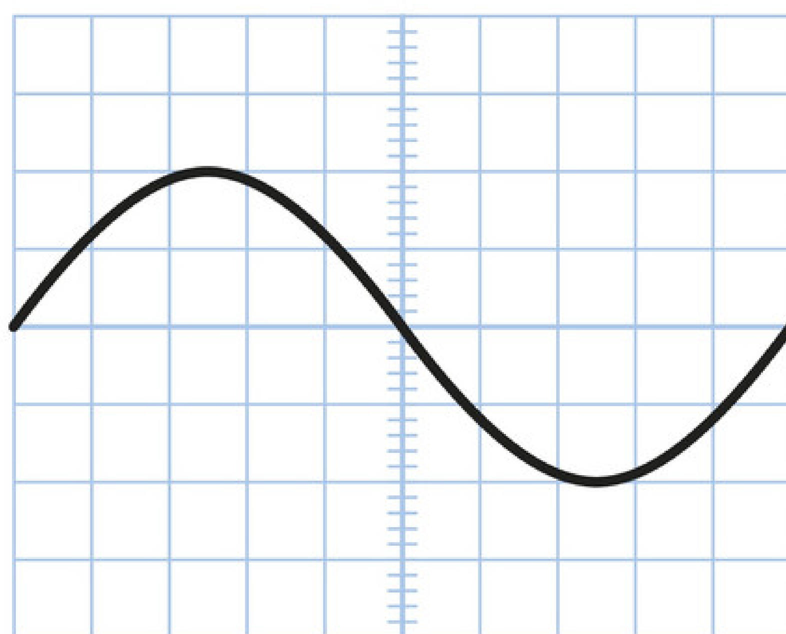
17 Het gezoem van een mug klinkt veel hoger dan het gezoem van een bij. Bij welk insect bewegen de vleugels per seconde het vaakst op en neer? Leg uit.

18 Kursat heeft een naald die aan een trillende stemvork vastzat, over een beroete glasplaat getrokken. In figuur 15 is een stukje van de glasplaat op ware grootte afgebeeld. De frequentie van de stemvork is 80 Hz.
- **a** Hoeveel trillingen zijn er op de glasplaat te zien?
- **b** In hoeveel tijd is dit stukje golfspoor getekend?
- **c** Hoe lang is het golfspoor dat in figuur 15 te zien is?
- **d** Bereken met welke snelheid de stemvork over de glasplaat getrokken is.



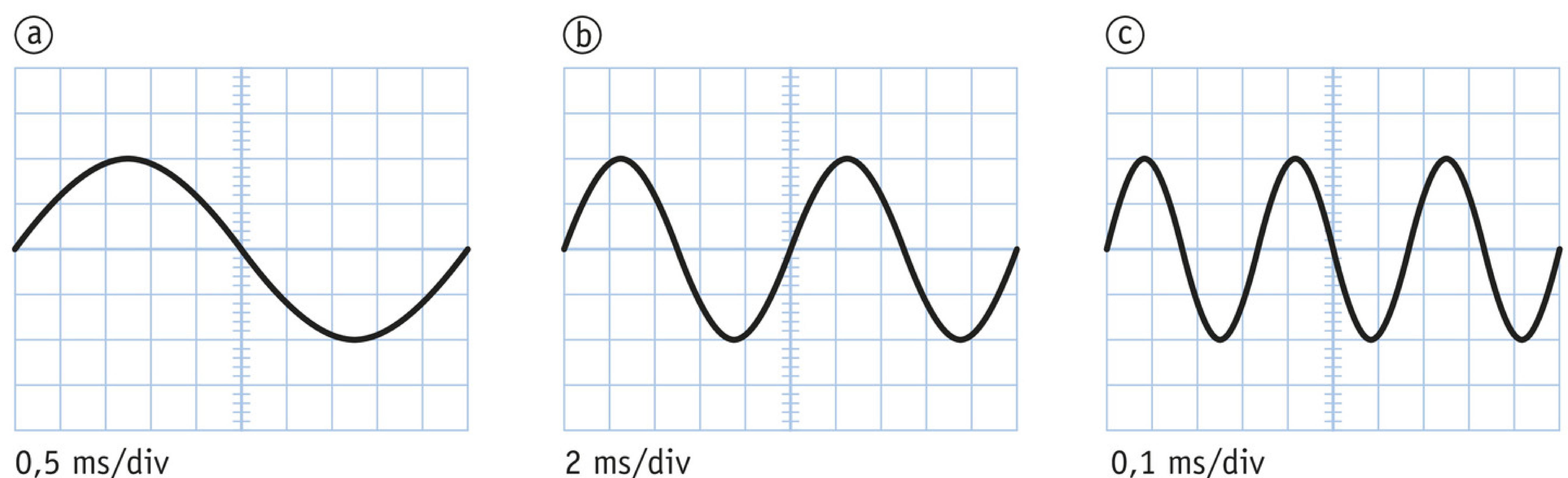
▶ **figuur 15**
het golfspoor van een stemvork

19 Sanne bekijkt twee tonen op een oscilloscoop, met dezelfde tijdbasis. In figuur 16 zie je hoe een oscilloscoop de eerste toon weergeeft.
De tweede toon is één octaaf hoger dan de eerste. Neem de tekening over en schets hoe de oscilloscoop deze toon weergeeft.

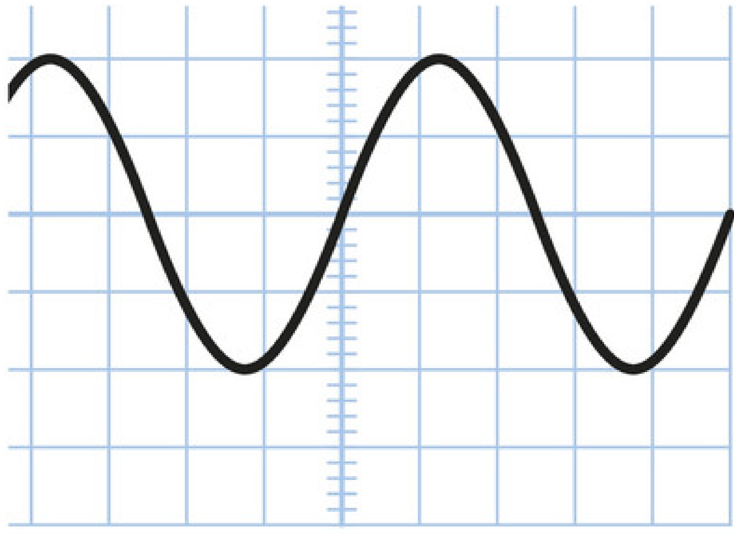


▲ **figuur 16**
Hoe ziet een toon eruit die één octaaf hoger is?

20 Zie vaardigheid 11 achter in het boek.
Op een oscilloscoop worden achtereenvolgens drie tonen afgebeeld: a, b en c (zie figuur 17). Bij de schermen staat steeds de tijdbasis vermeld.
- **a** Zie figuur 17a. Neem over en vul in.
  Elk vakje op het scherm staat voor … ms.
  Eén volledige trilling is … vakjes breed.
  De trillingstijd is dus … × … ms = … ms.
- **b** Bepaal net zo de trillingstijd van de tonen b en c.
- **c** Bereken de frequenties van de tonen a, b en c.
- **d** Welk oscilloscoopbeeld laat een hoge pieptoon zien?
- **e** Welk oscilloscoopbeeld laat een lage bromtoon zien?



▶ **figuur 17**
drie verschillende tonen op een oscilloscoopscherm

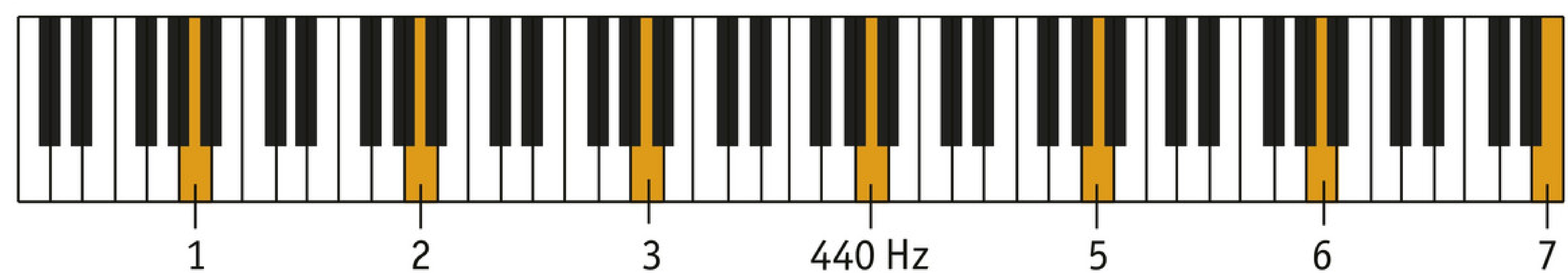


▲ **figuur 18**
het oscilloscoopbeeld van Bert

21 Bert test een geluidsinstallatie met een programma dat verschillende testtonen kan produceren. In figuur 18 zie je hoe een oscilloscoop een van de testtonen weergeeft. De tijdbasis is ingesteld op 0,2 ms/div.
- **a** Bepaal de frequentie van deze testtoon.
- **b** Hoeveel trillingen zal Bert op het scherm zien als hij de tijdbasis instelt op 1 ms/div?

22 Neem over en vul in.
- **a** f = 50 Hz; T = … s
- **b** f = 440 Hz; T = … ms
- **c** T = 50 ms; f = … Hz
- **d** T = 0,25 ms; f = … kHz

23 In figuur 19 zie je het toetsenbord van een piano. De zeven toetsen waarop je een A kunt spelen, zijn genummerd 1 tot en met 7. De vierde A (A4) heeft een frequentie van 440 Hz.
Noteer de frequentie van de overige A-tonen die je op de piano kunt spelen.



▲ **figuur 19**
de zeven A's die je op een piano kunt spelen

24 Op een website staat een nieuwsbericht over rookmelders (figuur 20).
- **a** In het bericht staat: "Rookmelders produceren meestal een hoogfrequent geluid."
  In welk frequentiegebied ligt dit geluid?
  - A tussen 0 en 20 Hz
  - B tussen 20 en 2000 Hz
  - C tussen 2000 en 20 000 Hz
  - D voorbij 20 000 Hz.
- **b** Volgens de onderzoekers zijn geluiden van 400 tot 520 Hz 'het meest effectief'.
  Wat hebben de onderzoekers onderzocht om het meest effectieve geluid aan te kunnen wijzen?
- **c** De onderzoekers vinden dat rookmelders een lagere alarmtoon moeten afgeven.
  Welke twee argumenten geven ze daarvoor?



ROOKMELDERS EFFECTIEVER BIJ LAAGFREQUENTE ALARMTOON

Onderzoekers van de Victoria Universiteit in Australië hebben ontdekt dat rookmelders beter een lager geluid kunnen afgeven. Zo kunnen volgens de onderzoekers met de melders meer levens worden gered.
Rookmelders produceren meestal een hoogfrequent geluid. Dat voldoet prima als mensen wakker zijn. Echter veel mensen horen dit hoogfrequente geluid niet wanneer ze slapen. Van het normaliter gebruikte hoogfrequente geluid werd slechts 44% van de proefpersonen wakker, terwijl maar liefst 92% wakker werd van het laagfrequente geluid.
De onderzoekers laten in hun onderzoek zien dat geluiden met een frequentie tussen 400 en 520 Hz het meest effectief zijn. Dit geldt helemaal voor slechthorenden die juist in de hoge frequenties niet meer goed horen.

Bron: website van de Nederlandse Vereniging voor Slechthorenden

◀ **figuur 20**
De frequentie van een alarmtoon kan van levensbelang zijn.

Plus Ultrasoon en infrasoon geluid

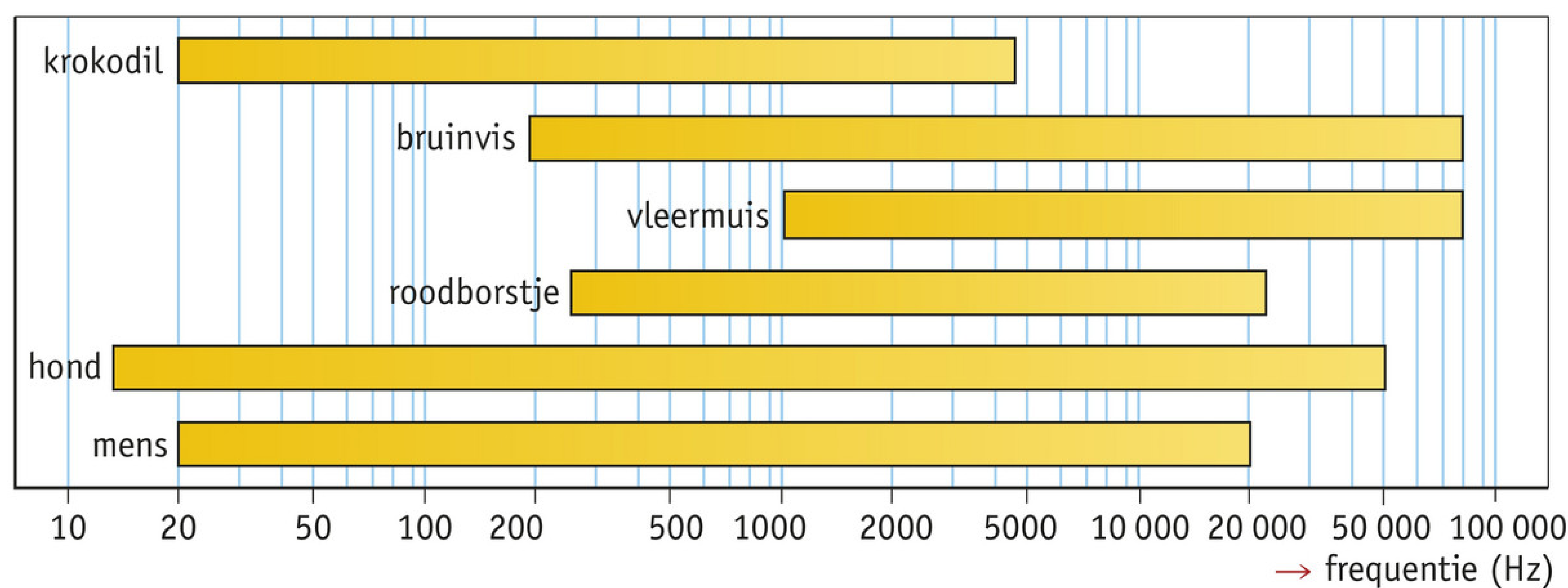
25 In figuur 21 is het frequentiebereik van de mens en van enkele dieren aangegeven.

a Welke dieren kunnen de hoogste tonen horen?

b Welk dier kan de laagste tonen horen?

c Een hondenfluitje maakt een geluid dat een hond wél en een mens niet kan horen.
Hoe hoog moet de frequentie van zo'n fluitje minstens zijn?

d Zijn er ook tonen die een mens wel kan horen en een hond niet? Zo ja, om welke frequenties gaat het dan?

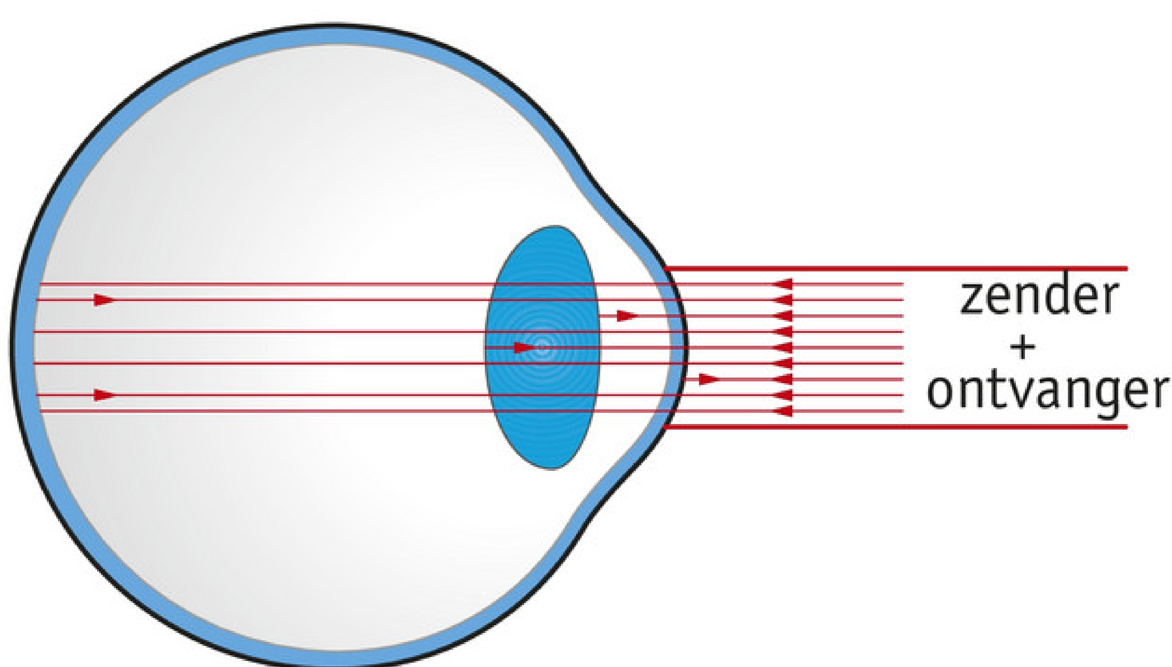


▲ **figuur 21**
het frequentiebereik van het gehoor van de mens en enkele dieren

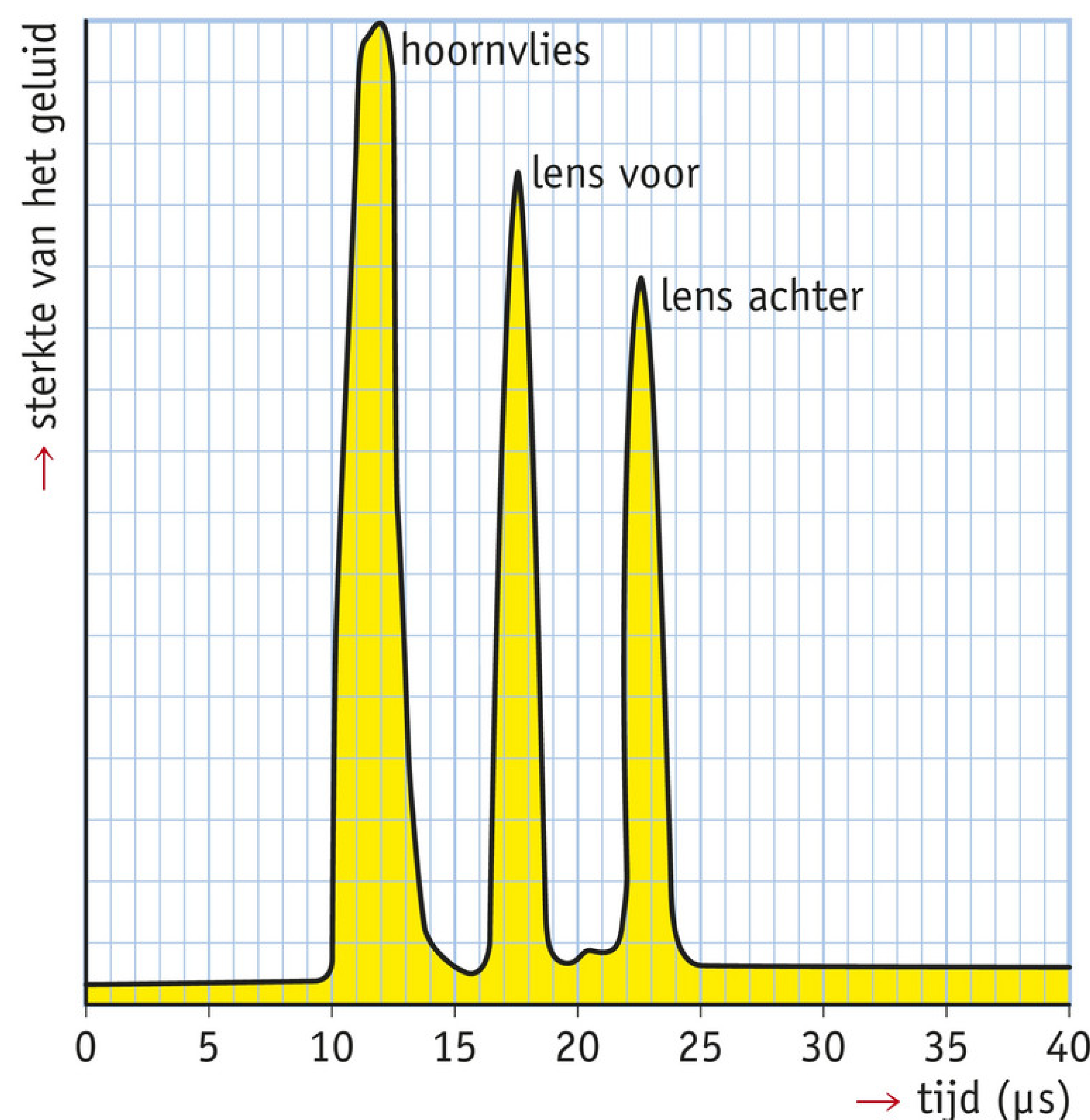
26 Om de dikte van een ooglens te meten, wordt ultrasoon geluid gebruikt. Een apparaat dat ultrasoon geluid uitzendt, wordt voor het oog gezet. Bekijk figuur 22. Door elk deel van het oog wordt het ultrasoon geluid als echo teruggekaatst. De echo's zijn te zien op een beeldscherm (figuur 23). In figuur 23 is ook de tijd aangegeven tussen het uitzenden van het geluid (op het tijdstip 0) en het ontvangen van de echo's.

a Hoe lang duurt het voor de echo van de voorkant van de ooglens wordt terugontvangen?

b Het geluid beweegt door de ooglens met een snelheid van 1500 m/s.
Bereken de dikte van de ooglens.

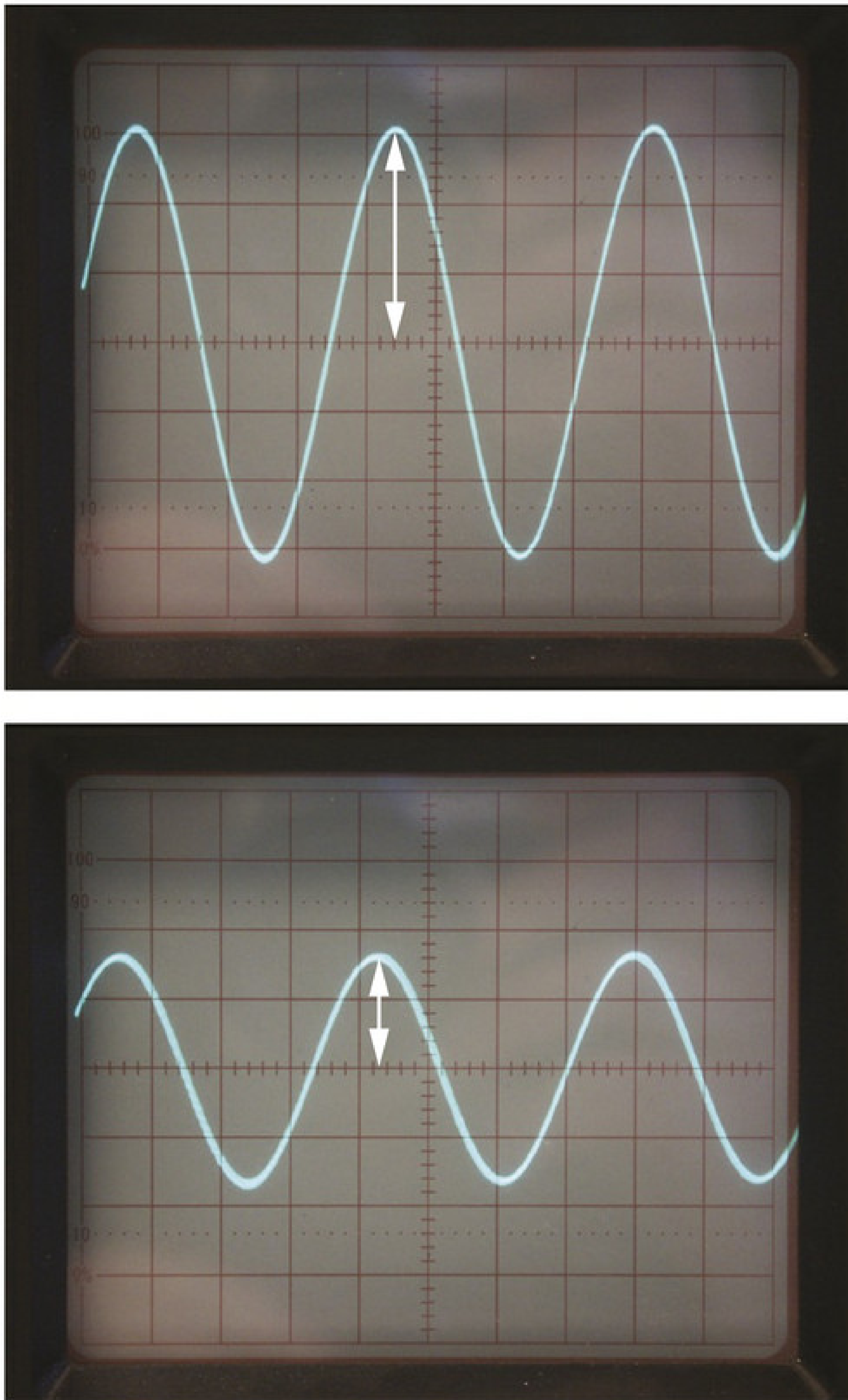


▲ **figuur 22**
een ultrasoon apparaat voor je oog



▶ **figuur 23**
de sterkte van het teruggekaatste geluid

3 Geluidssterkte



▲ figuur 24
Een luide en een zachte toon; de amplitude is aangegeven met een dubbele pijl.

Heel harde geluiden hoor je niet alleen, soms voel je ze ook. Het geluid in een disco of bij een popconcert staat soms zo hard dat je het geluid letterlijk kunt voelen. Vooral de bastonen kunnen doordreunen tot in je maag.

De amplitude van een trilling

Als een basluidspreker het geluid van een basgitaar of van een drum weergeeft, kun je de conus zien trillen. Die trilling wordt heviger als je het geluid harder zet. De drukverschillen in de omringende lucht worden daardoor ook groter. Je hoort dan dat het geluid luider wordt.

Je kunt de drukverschillen onderzoeken met een oscilloscoop, waarop je een microfoon hebt aangesloten. Bekijk de twee oscilloscoopschermen in figuur 24 maar eens. Op de bovenste foto is een luide toon te zien, op de onderste een zachte toon.

In figuur 24 is de **amplitude** van de trillingen aangegeven: de maximale uitwijking ten opzichte van de nullijn in het midden. Als de geluidssterkte groter wordt, neemt de amplitude toe. Als het geluid weggestorven is, is de amplitude nul geworden.

▼ **tabel 3** de geluidssterkte in verschillende situaties

voorbeeld	geluidssterkte (dB)
pijngrens: straalmotor op 25 m	140
startend straalvliegtuig op 50 m	130
toeterende auto op 2 m	120
betonboor op 1 m	110
helikopter op 30 m	100
passerende trein op 25 m	90
passerende bromfiets op 7,5 m	80
stofzuiger op 1 m	70
klas aan het werk	60
woonstraat overdag	50
koelkast op 1 m	40
fluisterende leerling	30
ruisende bladeren	20
ademende leerling	10
gehoordrempel	0

De decibelschaal

De **geluidssterkte** heeft als eenheid de decibel (dB). In tabel 3 zie je hoe groot de geluidssterkte in verschillende situaties is. Een toon met een frequentie van 1000 Hz en een geluidssterkte van 0 dB kun je net niet (of als je heel goede oren hebt, net wel) horen. 0 dB betekent dus niet dat er helemaal geen geluid is. Het apparaat waarmee je de geluidssterkte meet, wordt een geluidssterktemeter of **decibelmeter** genoemd (figuur 25).

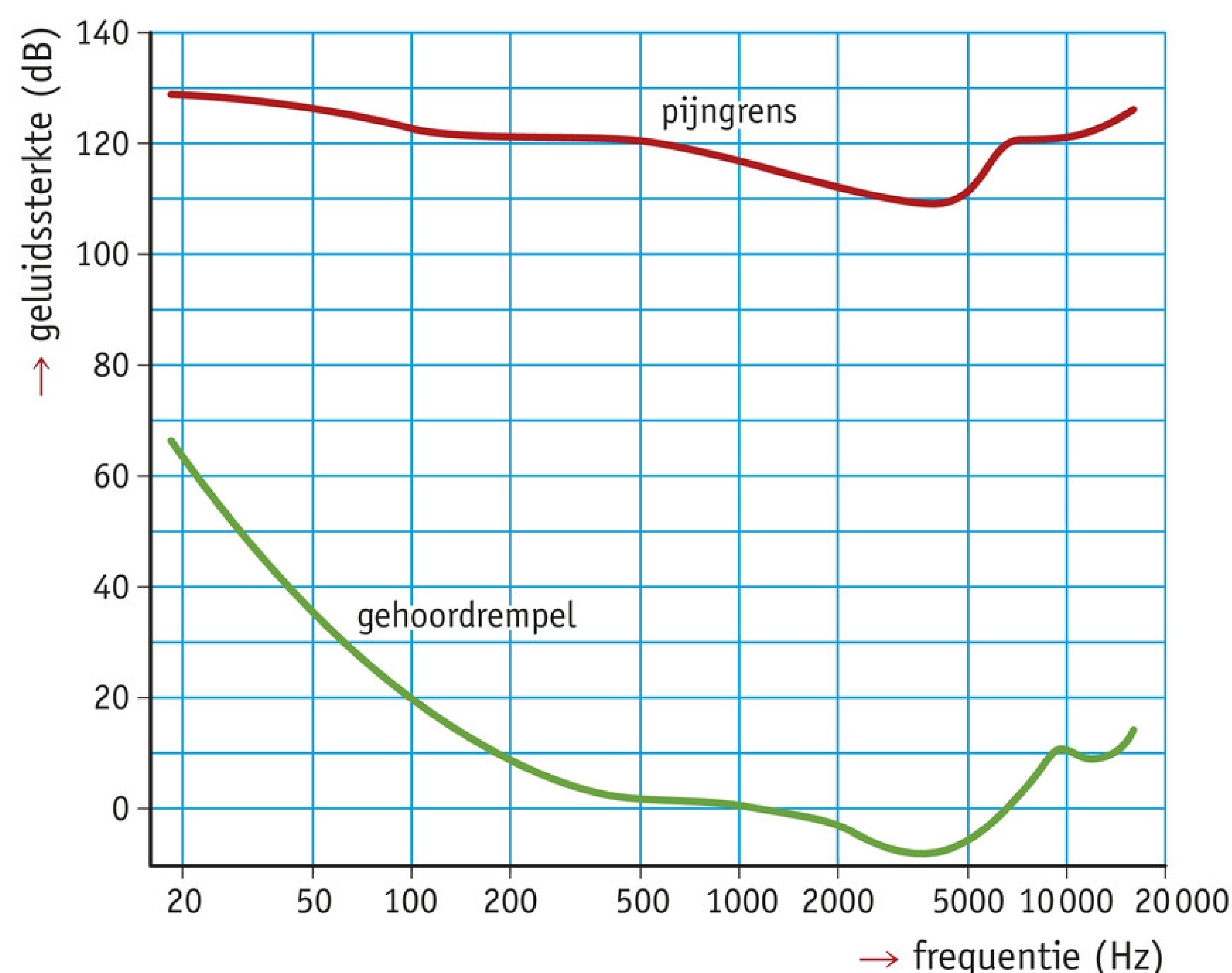


◀ figuur 25
een decibelmeter

Met een decibelmeter kun je nagaan hoeveel geluid een scooter maakt. De geluidssterkte moet daarbij op een vaste afstand van de uitlaat worden gemeten. Dat is nodig omdat de geluidssterkte afhangt van de afstand tot de geluidsbron: op 20 cm van de uitlaat meet je een grotere geluidssterkte dan op 80 cm.

Gehoordrempel en pijngrens

Onze oren zijn niet voor alle frequenties even gevoelig. Dat blijkt uit de grafiek van figuur 26. In deze grafiek is de **gehoordrempel** ingetekend. Dit is de geluidssterkte waarbij je het geluid net begint te horen. Je ziet dat deze gehoordrempel voor veel frequenties hoger ligt dan 0 dB.



▶ figuur 26
de pijngrens en de gehoordrempel

Uit de grafiek blijkt dat je gehoor het gevoeligst is voor de tonen in het midden van je frequentiebereik, rond de 4000 Hz. Voor lage en erg hoge tonen is je gehoor lang zo gevoelig niet. Deze tonen lijken daardoor minder sterk dan ze in werkelijkheid zijn. Ook de **pijngrens** – de geluidssterkte waarbij je oren pijn beginnen te doen – ligt niet voor alle frequenties even hoog.

Omdat de gevoeligheid van je oren niet hetzelfde is voor alle frequenties, hebben de meeste decibelmeters een **A-filter**. Dit filter maakt de meter minder gevoelig voor lage en erg hoge frequenties. Zo kan de meter de geluidssterkte nabootsen zoals we die met onze oren waarnemen. Als je het A-filter gebruikt, moet je de geluidssterkte opgeven in dB(A).

Bij tonen tussen de 500 en 10 000 Hz verschillen de dB(A)-schaal en de dB-schaal nauwelijks van elkaar. Je oren zijn voor deze frequenties het gevoeligst. Dit zijn juist de frequenties die belangrijk zijn om spraak te verstaan. Maar bij lage en heel hoge tonen is de geluidssterkte in dB(A) lager dan de geluidssterkte in dB. Bij metingen om geluidshinder vast te stellen wordt altijd de dB(A)-schaal gebruikt.

Rekenen met decibellen

Als het aantal geluidsbronnen verdubbelt, wordt het geluid niet twee keer zo luid. Dat merk je als je de geluidssterkte in het muzieklokaal meet. Als één leerling zingt, schommelt de geluidssterkte rond 55 dB. Maar als er 32 leerlingen tegelijk zingen, wordt de (gemiddelde) geluidssterkte niet 32 keer zo groot. Je meet 'slechts' een geluidssterkte van gemiddeld 70 dB.

De decibelschaal sluit aan bij de manier waarop mensen geluid waarnemen. Als het aantal geluidsbronnen twee keer zo groot wordt, verdubbelt het vermogen dat de geluidsbronnen afgeven. Maar voor jouw gevoel levert dat maar een bescheiden toename op van de hoeveelheid geluid. Op de decibelschaal gaat het om een stap van maar 3 dB.

Hoe groot de geluidssterkte in decibel wordt, kun je daarom berekenen met de volgende rekenregel:

Als het aantal geluidsbronnen 2× zo groot wordt, neemt de geluidssterkte met 3 dB toe.

Je kunt deze regel alleen gebruiken als alle geluidsbronnen (ongeveer) even veel geluid maken en op (ongeveer) dezelfde afstand staan.

Voorbeeldopgave 3
Op 10 m afstand van een concertpodium wordt de geluidssterkte gemeten (figuur 27). Als er één violist speelt, is de geluidssterkte 70 dB. Welke geluidssterkte wordt gemeten als er een groep van acht violisten aan het spelen is?

Het aantal decibellen is bij:
- één violist: 70 dB;
- twee violisten: 70 + 3 = 73 dB (van 1 naar 2: eerste verdubbeling);
- vier violisten: 73 + 3 = 76 dB (van 2 naar 4: tweede verdubbeling);
- acht violisten: 76 + 3 = 79 dB (van 4 naar 8: derde verdubbeling).

Als er acht violisten spelen, meet je dus een geluidssterkte van ruwweg 79 dB.



1 violist: 70 dB



2 violisten: 73 dB



4 violisten: 76 dB



8 violisten: 79 dB

▲ **figuur 27**
De geluidssterkte neemt toe in stappen van 3 dB.

Plus Geluidssterkte en afstand

Deskundigen maken onderscheid tussen 'puntvormige' en 'lineaire' geluidsbronnen. Als het geluid van één plek komt – bijvoorbeeld van één auto op een rustig landweggetje – heb je met een puntvormige geluidsbron te maken. De geluidssterkte die je waarneemt, hangt af van je afstand tot de geluidsbron. Uit proeven en berekeningen blijkt:

Als je de afstand tussen jezelf en een puntvormige geluidsbron verdubbelt, neemt de geluidssterkte (die jij waarneemt) met 6 dB af.

▼ **figuur 28**
een lineaire geluidsbron



Een drukke verkeersweg vormt een 'lint van lawaai' (figuur 28). Zo'n weg is een lineaire (lijnvormige) geluidsbron. Met 'de afstand tussen jou en de weg' wordt de kortste afstand bedoeld, loodrecht op de weg gemeten. Voor het geluid van zo'n lineaire geluidsbron geldt:

Als je de afstand tussen jezelf en een lineaire geluidsbron verdubbelt, neemt de geluidssterkte (die jij waarneemt) met 3 dB af.

Het vergroten van de afstand is dus veel effectiever bij een puntvormige geluidsbron (6 dB afname per verdubbeling) dan bij een lineaire geluidsbron (3 dB afname per verdubbeling).

opgaven

Leerstof

27 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welke eenheid gebruik je voor de geluidssterkte?
- **b** Met welk apparaat kun je de geluidssterkte meten?
- **c** Wat is de gehoordrempel?
- **d** Voor welke tonen is de gehoordrempel hoger dan 0 dB?

28 Vaak wordt in plaats van de dB-schaal de dB(A)-schaal gebruikt.
- **a** Hoe heet het filter dat dan wordt ingeschakeld?
- **b** Welke tonen worden door dit filter verzwakt?
- **c** Waarom worden deze tonen verzwakt?
- **d** Wanneer wordt de dB(A)-schaal gebruikt?

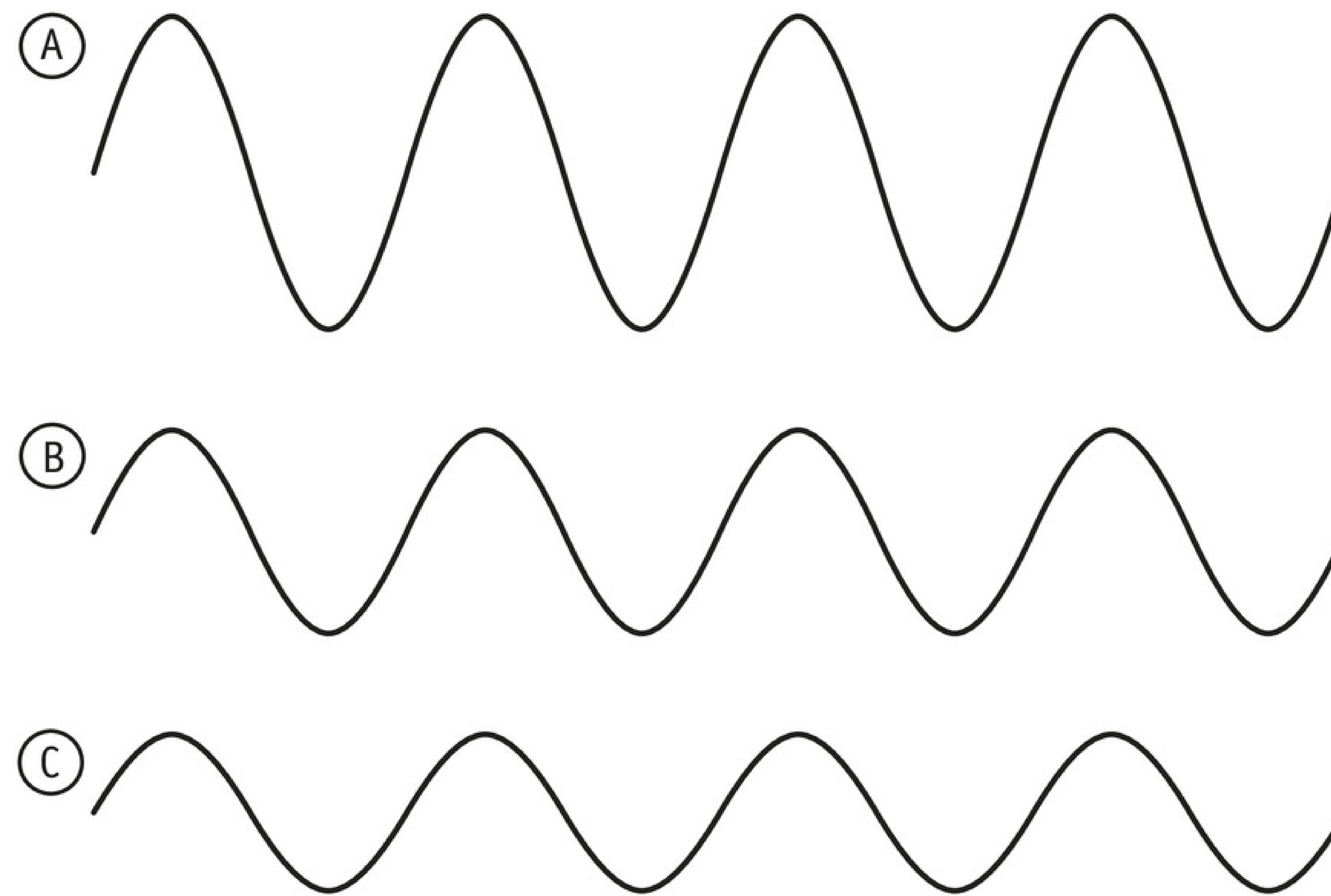
Toepassing

29 Dmitri slaat een stemvork aan. Hij hoort een toon die langzamerhand steeds zachter wordt.
- **a** Verandert de frequentie van de geluidstrilling als de toon zachter wordt? Zo ja, hoe verandert die dan?
- **b** Verandert de amplitude van de geluidstrilling als de toon zachter wordt? Zo ja, hoe verandert die dan?

30 Corien slaat een stemvork aan. Daarna trekt ze de schrijfstift, die aan de stemvork bevestigd is, over een beroete glasplaat. In figuur 29 zie je drie stukjes van het geluidsspoor dat dan ontstaat, 10× vergroot.

a Hoe groot is de amplitude bij A? Bij B? Bij C?

b Het stukje golfspoor bij A is eerder ontstaan dan het stukje golfspoor bij B. Waaraan kun je dat zien?



▶ **figuur 29**
drie gedeelten van het golfspoor van Corien

31 Een agente controleert of een scootermotor niet te veel lawaai maakt. Zij houdt de decibelmeter daarbij op 50 cm van de uitlaat.

a Leg uit waarom de geluidssterkte altijd op een vaste afstand van de geluidsbron moet worden gemeten.

b Wat gaat er fout als de afstand tussen de decibelmeter en de uitlaat groter is dan 50 cm?

c Wat gaat er fout als die afstand kleiner is dan 50 cm?

32 Zie de grafiek in figuur 26.

a Een toon heeft een sterkte van 20 dB en een frequentie van 50 Hz. Kun je die toon horen?

b Een toon heeft een sterkte van 20 dB en een frequentie van 5000 Hz. Kun je die toon horen?

c Hoe sterk moet een toon van 100 Hz minstens zijn om gehoord te kunnen worden?

d Hoe sterk moet een toon van 10 000 Hz minstens zijn om gehoord te kunnen worden?

33 Karel laat de motor van zijn scooter stationair draaien. Op 5 m afstand van zijn scooter is de geluidssterkte 74 dB.

a Karel krijgt gezelschap van Rob, Henk en John. Ze laten alle vier de motoren van hun scooter even hard stationair draaien.
Hoe groot is de geluidssterkte op 5 m afstand van de vier scooters?

b Frits en John rijden weg.
Hoe groot is de geluidssterkte op 5 m afstand van de twee overgebleven scooters?

34 In een voetbalstadion wordt op de middenstip de geluidssterkte gemeten. Als er duizend mensen aan het juichen zijn, geeft de decibelmeter 80 dB aan.
Schat hoe groot de geluidssterkte ongeveer zal zijn als er honderdduizend mensen aan het juichen zijn. Geef aan hoe je aan je antwoord bent gekomen.

35 Lees het stukje uit de krant in figuur 30. Stel dat de gemeente de limiet van 54 dB zou aanhouden op verzoek van de bewoners.

a Bereken hoeveel mensen er dan ongeveer op de Waalkade zouden mogen roezemoezen.

b Leg uit waarom je het aantal mensen onmogelijk exact kunt uitrekenen.

Geroezemoes van publiek alleen al goed voor 75 dB

Door onze verslaggeefster

NIJMEGEN – Op de Waalkade, waar donderdagavond in het kader van de Vierdaagse naar schatting twintigduizend mensen vertoefden, zijn wederom geluidsmetingen gehouden.
Opmerkelijk genoeg was alleen al het geroezemoes van het publiek, dus met de muziek uit, goed voor 75 decibel (dB). Die anekdote bewijst volgens Ruud Schilder van de gemeentelijke dienst Economische Zaken dat het deze dagen niet haalbaar is om de grens van 50 tot 55 dB aan te houden.
Vorige week was door een groep bewoners van de Waalkade met een kort geding nog gepoogd die limiet als leidraad verplicht te stellen.

Bron: De Gelderlander

▶ **figuur 30**
lawaai op de Waalkade

***36** Een apparaat geeft een zacht zoemgeluid met een frequentie van 100 Hz. Op 10 m afstand heeft het gezoem een geluidssterkte van 0 dB.

a Hoeveel van die apparaten moeten tegelijk aanstaan, wil je het gezoem horen op 10 m afstand?

b Als de frequentie van het geluid hoger wordt, kun je het wel horen. Welke frequenties kun je net horen als de geluidssterkte 0 dB is?

c Op 40 m afstand geven zestien van deze apparaten samen een geluidssterkte van 0 dB.
Hoe groot is de geluidssterkte van één apparaat op 40 m afstand?

Plus Geluidssterkte en afstand

37 Een scooter passeert Henk op een afstand van 15 m. Op de plaats waar Henk staat, is de geluidssterkte dan 78 dB. Na een seconde of dertig is de brommer 480 m van Henk verwijderd.

a Is een scooter een puntbron of een lineaire bron? Leg uit.
b Neem tabel 4 over. Vul de ontbrekende waarden in.
c Hoe groot is de geluidssterkte die Henk na 30 s waarneemt?

▼ **tabel 4** het verband tussen geluidssterkte en afstand bij een puntvormige geluidsbron

afstand (m)	geluidssterkte (dB)
15	78
30	
60	
	60
	54
480	

***38** Vergelijk de volgende twee situaties:

Situatie 1
Een wegwerker is met een drilboor aan het werk op een snelweg die is afgesloten voor verkeer. Uit metingen op 25 m afstand van de wegwerker blijkt dat de drilboor gemiddeld 75 dB produceert.

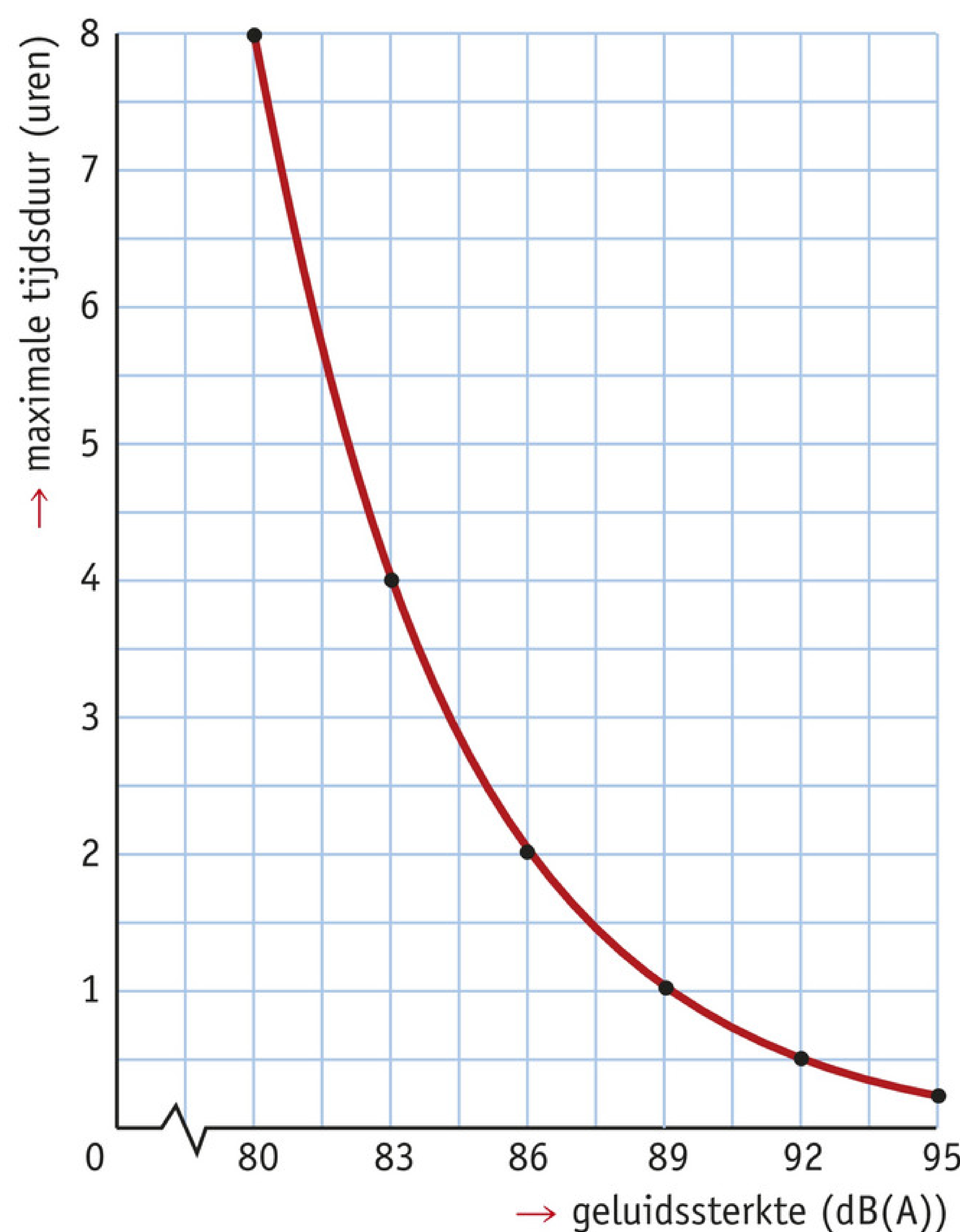
Situatie 2, drie maanden later
Tijdens de ochtendspits rijdt er druk verkeer over de inmiddels weer opengestelde snelweg. Uit metingen op 25 m afstand van de weg blijkt dat het verkeer gemiddeld 60 dB produceert.

a Een woonhuis staat op 200 m afstand van de weg, ter hoogte van de wegwerker en zijn drilboor.
Bereken hoe groot de geluidssterkte bij het huis is:
- in situatie 1.
- in situatie 2.

b Op 1200 m afstand van de weg begint een woonwijk.
Wat kunnen de mensen daar beter kunnen horen: de drilboor of het verkeer?
c Leg uit hoe je aan je antwoord op b bent gekomen.
d Hoe ziet het gebied eruit waar de geluidssterkte hoger is dan 55 dB:
- in situatie 1.
- in situatie 2.

4 Geluidsoverlast bestrijden

Geluid kan heel irritant zijn. Denk aan het geluid van een druppende kraan of van een vork die over een bord krast. Geluidsoverlast van de buren staat hoog in de top tien van ergernissen in Nederland. Harde geluiden kunnen je gehoor bovendien blijvend beschadigen. Alle reden dus om ongewenst geluid te bestrijden.



▲ **figuur 31**
Hoe luider het geluid, des te korter mag je eraan blootstaan.

Schadelijke geluidssterkte

Harde geluiden zijn slecht voor je gehoor. Als de geluidssterkte op de pijngrens zit, loopt je gehoor vrijwel meteen schade op. Maar ook als je langdurig wordt blootgesteld aan geluid van 80-90 dB, kun je al gehoorschade oplopen. Veel mensen onderschatten het risico, omdat je eerst niet merkt dat je gehoor achteruitgaat.

Of geluid schadelijk is voor je gehoor, hangt niet alleen af van de geluidssterkte. Ook de tijdsduur dat je aan het geluid blootstaat, speelt een rol. In figuur 31 zie je hoe lang een werknemer op zijn hoogst aan lawaai mag blootstaan. Bij geluid van 80 dB(A) is dat acht uur, bij geluid van 83 dB(A) vier uur, bij geluid van 86 dB(A) twee uur, enzovoort.

Als de maximale tijd voorbij is, moet je je gehoor de kans geven om zich weer te herstellen. Anders loop je kans op blijvend gehoorletsel. Het kan jaren duren voordat de schade merkbaar wordt. Op het moment dat je last krijgt van slechthorendheid, ben je al te laat; dan kan de schade niet meer teruggedraaid worden.



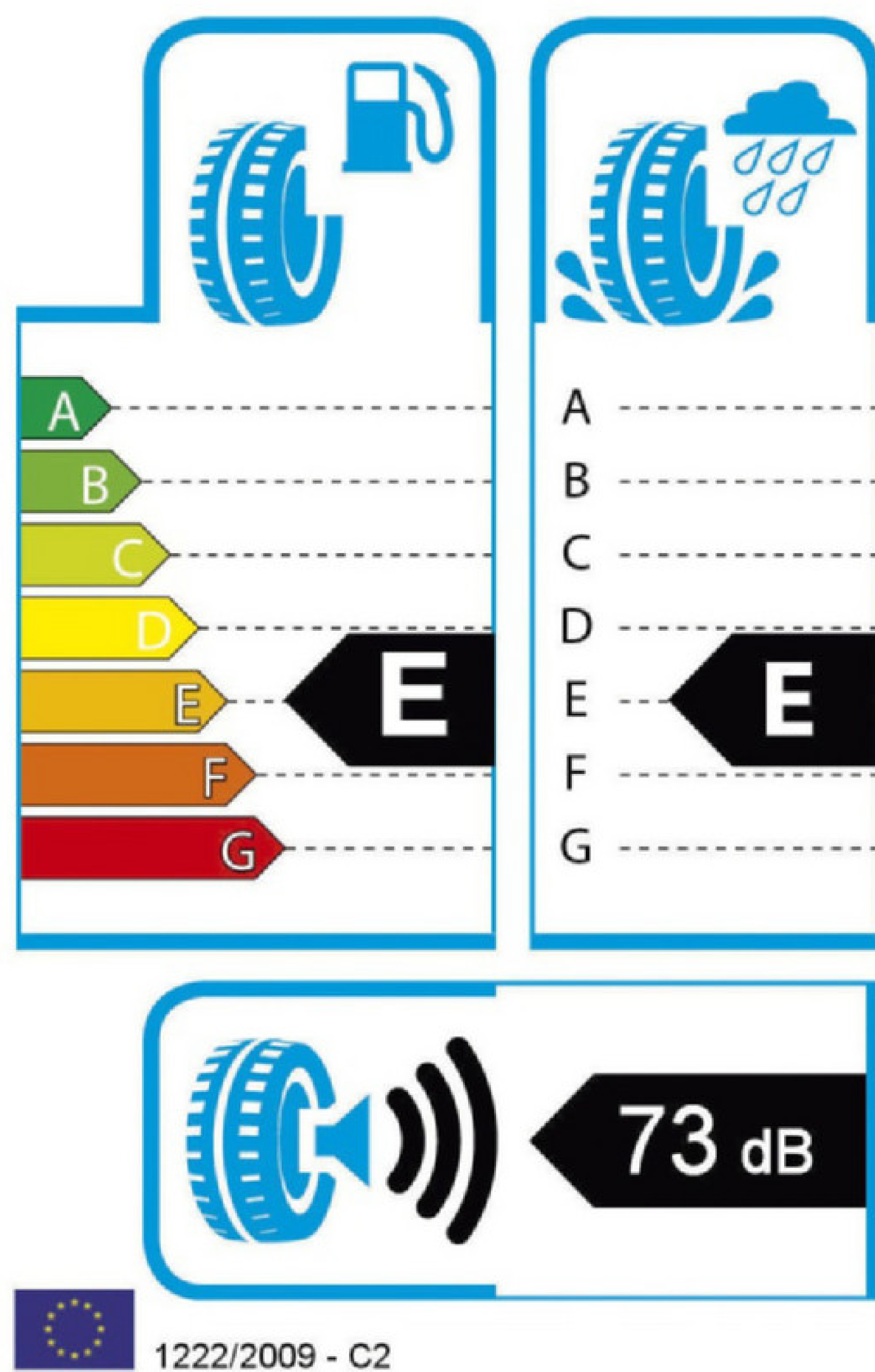
▲ **figuur 32**
reizen in een stiltecoupé

Hinderlijk geluid

Geluid dat niet schadelijk is, kan nog wel hinderlijk zijn. De ene persoon wordt eerder door bepaalde geluiden gehinderd dan de andere. Verkeerslawaai en geluidsoverlast van buren worden door veel mensen als hinderlijk ervaren.

Of je een geluid hinderlijk vindt, hangt vaak van de situatie af. Een feest bij de buren hoeft helemaal niet erg te zijn, totdat je gaat slapen en merkt dat de muziek toch best wel hard staat. Veel mensen vinden het niet erg dat er in een treincoupé gepraat wordt, maar voor iemand die rustig wil werken, kan een stiltecoupé erg prettig zijn (figuur 32).

Dat mensen slecht slapen door geluidsoverlast, is niet alleen maar lastig. Slaapgebrek leidt tot prikkelbaar gedrag, concentratieverlies en oververmoeidheid. Op den duur kan je gezondheid door het gebrek aan slaap achteruitgaan.



▲ figuur 33
Banden met twee streepjes voldoen aan de nieuwe regels, banden met drie streepjes niet.

Maatregelen tegen geluidsoverlast

Een auto die over een weg rijdt, produceert flink wat geluid. Dat geluid komt van de motor die de auto voortstuwt, de wielen die over het wegdek bewegen en de lucht die langs de auto stroomt. Ook de remmen kun je goed horen, als de automobilist op het rempedaal trapt.

Er zijn verschillende manieren bedacht om de geluidshinder van het verkeer te verminderen. Deskundigen maken daarbij verschil tussen drie soorten maatregelen: bij de bron, tussen de bron en de ontvanger en bij de ontvanger.

Bij de bron
Dit zijn maatregelen waardoor de bron – het verkeer – minder geluid gaat produceren. Dat kan bijvoorbeeld door snelwegen te asfalteren met geluidsarm asfalt. Ook komen er strengere regels voor de hoeveelheid lawaai die autobanden mogen maken (figuur 33).

Tussen de bron en de ontvanger
Dit zijn maatregelen in het gebied tussen een weg en een woongebied, zoals **geluidswallen** en **geluidsschermen.** Ook worden langs snelwegen vaak bedrijfsgebouwen gepland om de woonwijk daarachter af te schermen.

Bij de ontvanger
Dit zijn de maatregelen die in het woongebied genomen worden. Huizen die dicht bij een snelweg staan, worden bijvoorbeeld extra goed geïsoleerd tegen geluidshinder. Er kan dan veel minder geluid de huizen binnenkomen.



▲ figuur 34
een geluidsscherm

Geluid absorberen of terugkaatsen

Een dikke aarden wal langs een snelweg kan het verkeerslawaai behoorlijk dempen. Het geluid wordt door zo'n wal **geabsorbeerd**: de geluidstrillingen dringen een eindje in de wal door, maar doven uit voordat ze de andere kant bereiken. Materiaal dat geluid moet absorberen, is zacht en heeft een onregelmatig oppervlak.

Als er niet voldoende ruimte voor een geluidswal is, wordt er vaak een geluidsscherm langs de snelweg geplaatst. Het geluid wordt door zo'n scherm **teruggekaatst**, zodat het de huizen en flats langs de snelweg niet bereikt (figuur 34). Materiaal dat geluid moet terugkaatsen, is hard en heeft een glad oppervlak.



▲ figuur 35
Oorkappen zijn hier verplicht.

Geluidsisolatie

Geluidshinder kun je vaak goed bestrijden met **geluidsisolatie**. Daarvoor wordt een isolatiemateriaal gebruikt zoals glaswol, dat het geluid sterk absorbeert. De isolatie kan worden aangebracht bij de bron van het geluid of bij de ontvanger. Beide manieren worden in de praktijk toegepast.

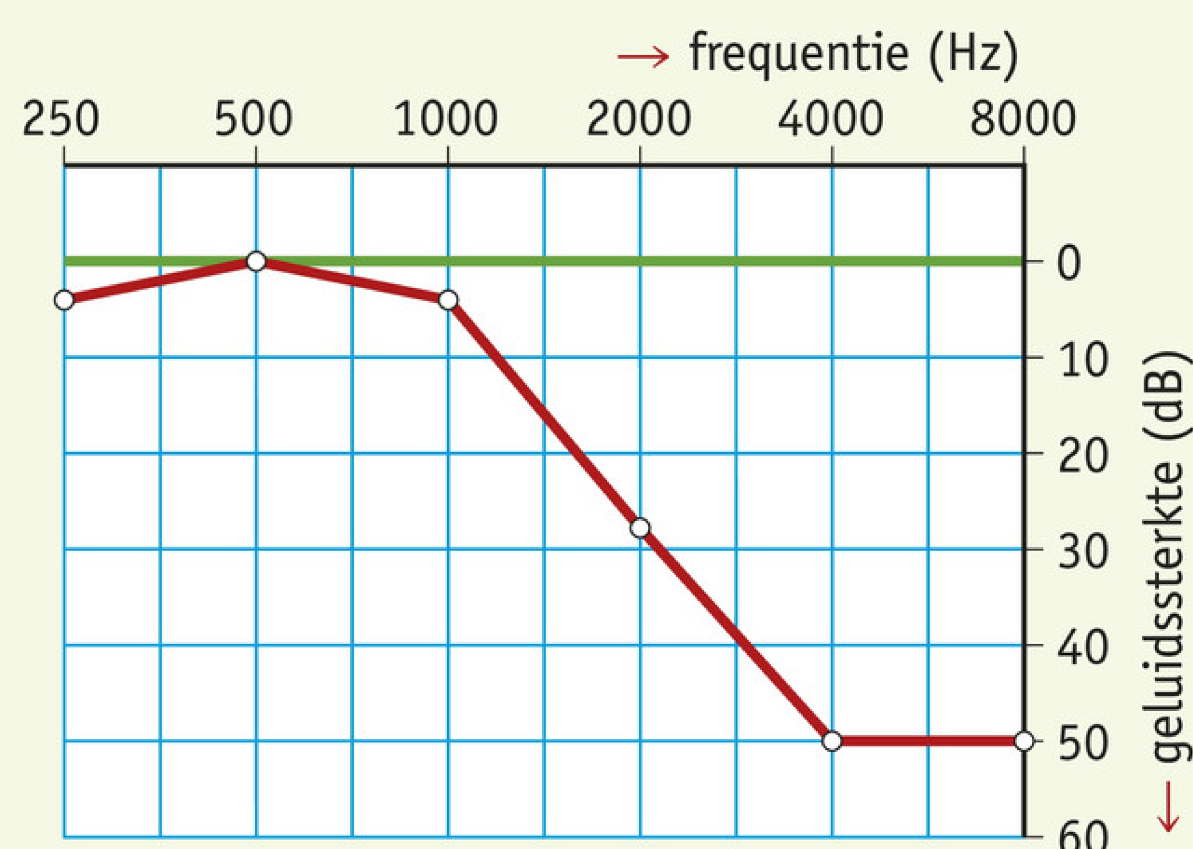
Je kunt een lawaaierige machine isoleren door er een goed afgesloten behuizing omheen te bouwen, met een flinke laag isolatiemateriaal. De geluidstrillingen worden door zo'n isolatielaag flink afgezwakt. Vaak wordt zo'n machine gemonteerd op rubberen noppen. Het rubber dempt de trillingen, zodat die niet aan de vloer worden doorgegeven.

Geluidsisolatie kan ook worden aangebracht bij de ontvanger. Werknemers moeten bijvoorbeeld **oorkappen** of **oordopjes** dragen, als het geluid op hun werkplek luider is dan 85 dB(A) (figuur 35). Hierdoor wordt het geluid dat hun oren bereikt, een stuk zwakker.

Plus Audiogrammen

Als een arts vermoedt dat je gehoor beschadigd is, kan die je gehoor laten testen door een audioloog. Het resultaat van zo'n test wordt vastgelegd in een **audiogram**: een grafiek waarop je kunt zien hoe jouw gehoor functioneert, vergeleken met een normaal gehoor. Als regel wordt van ieder oor een apart audiogram gemaakt.

Bij de test krijg je een toon te horen via een koptelefoon, bijvoorbeeld van 250 Hz. Eerst is die toon onhoorbaar zacht, maar daarna wordt hij steeds luider. Op het moment dat je de toon kunt horen, geef je een teken aan de audioloog. Zo wordt je gehoordrempel voor een toon van 250 Hz bepaald (de geluidssterkte waarbij je die toon net kunt horen). Daarna gebeurt hetzelfde voor een aantal andere frequenties.



▲ figuur 36
Dit audiogram toont een gehoorverlies tot wel 50 dB voor hoge tonen.

In figuur 36 zie je een audiogram dat op basis van zo'n serie metingen gemaakt is. De grafiek laat zien hoe groot het verschil is tussen jouw gehoordrempel en die van een normaal gehoor. Als de grafiek de groene nullijn volgt, heb je een perfect normaal gehoor. Kleine afwijkingen van de nullijn zijn heel gewoon en vormen geen probleem; maar als je gehoor beschadigd is, zijn de verschillen groter. Het audiogram in figuur 36 is van iemand die hoge tonen niet goed hoort. Voor die tonen loopt de afwijking op tot 50 dB.

opgaven

Leerstof

39 Geluid kan zowel hinderlijk als schadelijk zijn.
- **a** Wanneer is geluid schadelijk?
- **b** Geef een voorbeeld van schadelijk geluid.
- **c** Wanneer is geluid hinderlijk?
- **d** Geef een voorbeeld van hinderlijk geluid.

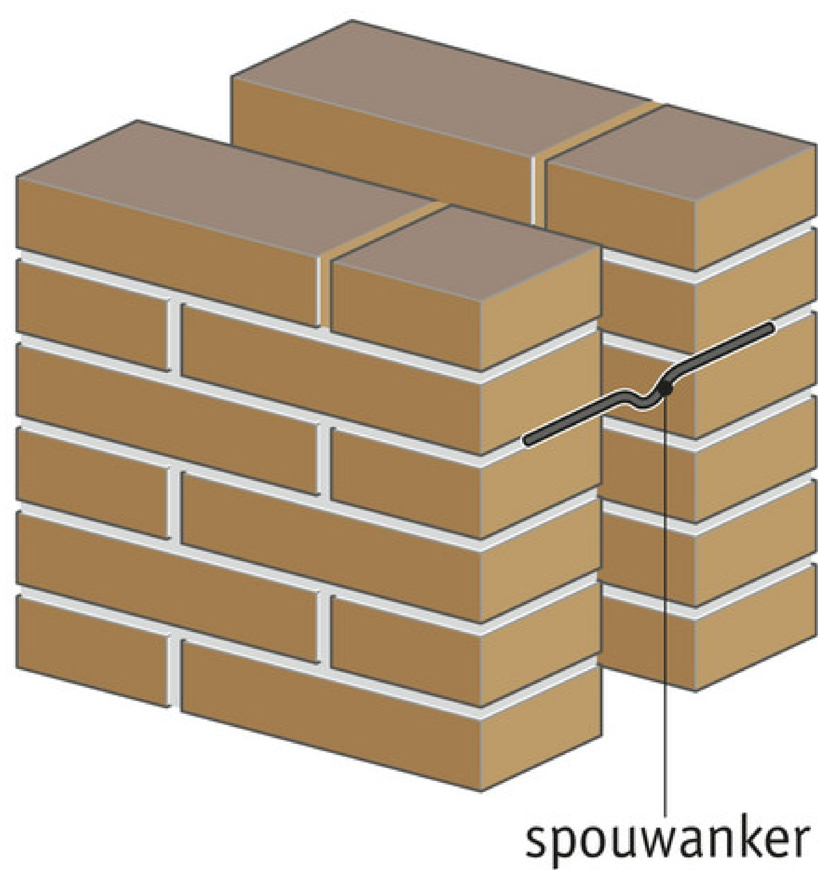
40 Het verkeer op een drukke weg kan veel lawaai maken.
Noteer een manier om de geluidsoverlast te bestrijden:
- **a** bij de bron.
- **b** tussen de bron en de ontvanger.
- **c** bij de ontvanger.

Toepassing

41 Kees moppert op het lawaai van Britte. Britte kan daar op verschillende manieren op reageren (zie figuur 37).
Noteer van elke reactie of het gaat om een maatregel 'bij de bron', 'tussen bron en ontvanger' of 'bij de ontvanger'.



▲ **figuur 37**
Mag het wat zachter?



▲ **figuur 38**
spouwmuur met spouwanker

42 Frank woont op de vijfde verdieping van een flatgebouw. Hij is pianist en moet iedere dag een aantal uur oefenen. Als hij op zijn piano speelt, kun je de lage tonen op de eerste verdieping van het flatgebouw duidelijk horen.

a Langs welke weg(en) komt het geluid van de piano op de eerste verdieping terecht?

b Op verzoek van zijn onderburen zet Frank de poten van zijn piano op dikke stukken rubber.
Hoe komt het dat de onderburen nu veel minder last hebben van Franks pianospel?

c Frank isoleert de kamer waar zijn piano staat.
Waarom is het beter als de isolatie los van de muur staat?

43 Een spouwmuur bestaat uit een binnen- en een buitenmuur. Deze twee muren worden vaak verbonden met stalen staafjes die ankers genoemd worden (figuur 38). Een spouwmuur isoleert beter tegen geluid als er geen ankers worden aangebracht.
Leg uit hoe dat komt.

44 Als je de muziek op je mobiele telefoon of mp3-speler op zijn hardst zet, kan de geluidssterkte in je oren gemakkelijk oplopen tot 95 dB(A).
Beantwoord de volgende vragen met behulp van figuur 31.

a Is een geluidssterkte van 95 dB(A) slecht voor je oren? Leg uit.

b Hoe lang kun je (redelijk) veilig naar muziek van 95 dB(A) luisteren?

c Jesse zegt dat hij de oortjes van zijn telefoon bijna de hele dag in heeft.
Wat is een veilige geluidssterkte voor iemand die zoveel naar muziek luistert?

d Verkeersdeskundigen zeggen dat je in het verkeer beter niet naar muziek kunt luisteren.
Welke reden zullen ze daarvoor hebben?

***45** Lees het artikel in figuur 39.

a Wat wordt met 'geluidsschaduw' bedoeld?

b Beredeneer dat het geluid bij een afname met 15 dB 32× zo zacht klinkt.

c Hoeveel maal zo zacht klinkt geluid dat met 5 dB afneemt? Maak een schatting.

▶ **figuur 39**
geluidsschermen

Geluidsschermen bieden minder bescherming

Geluidsschermen langs autowegen bieden veel minder bescherming tegen geluidsoverlast dan gedacht. In de praktijk 'tilt' de wind het verkeerslawaai over de schermen heen. De geluidsschaduw achter de schermen is daardoor veel kleiner dan wordt aangenomen. Een scherm dat geacht werd 15 dB tegen te houden, deed dat maar met 5 dB. Geluidsschermen zouden beter in de vorm van een aarden wal met een afgeronde top kunnen worden gebouwd, blijkt uit onderzoek.
Bron: De Ster

Plus Audiogrammen

46 Bij deze opgave heb je werkblad 7-1 nodig.
Een audioloog heeft het gehoor getest van Hans en Bert. In tabel 5 zie je de uitkomsten van het onderzoek.

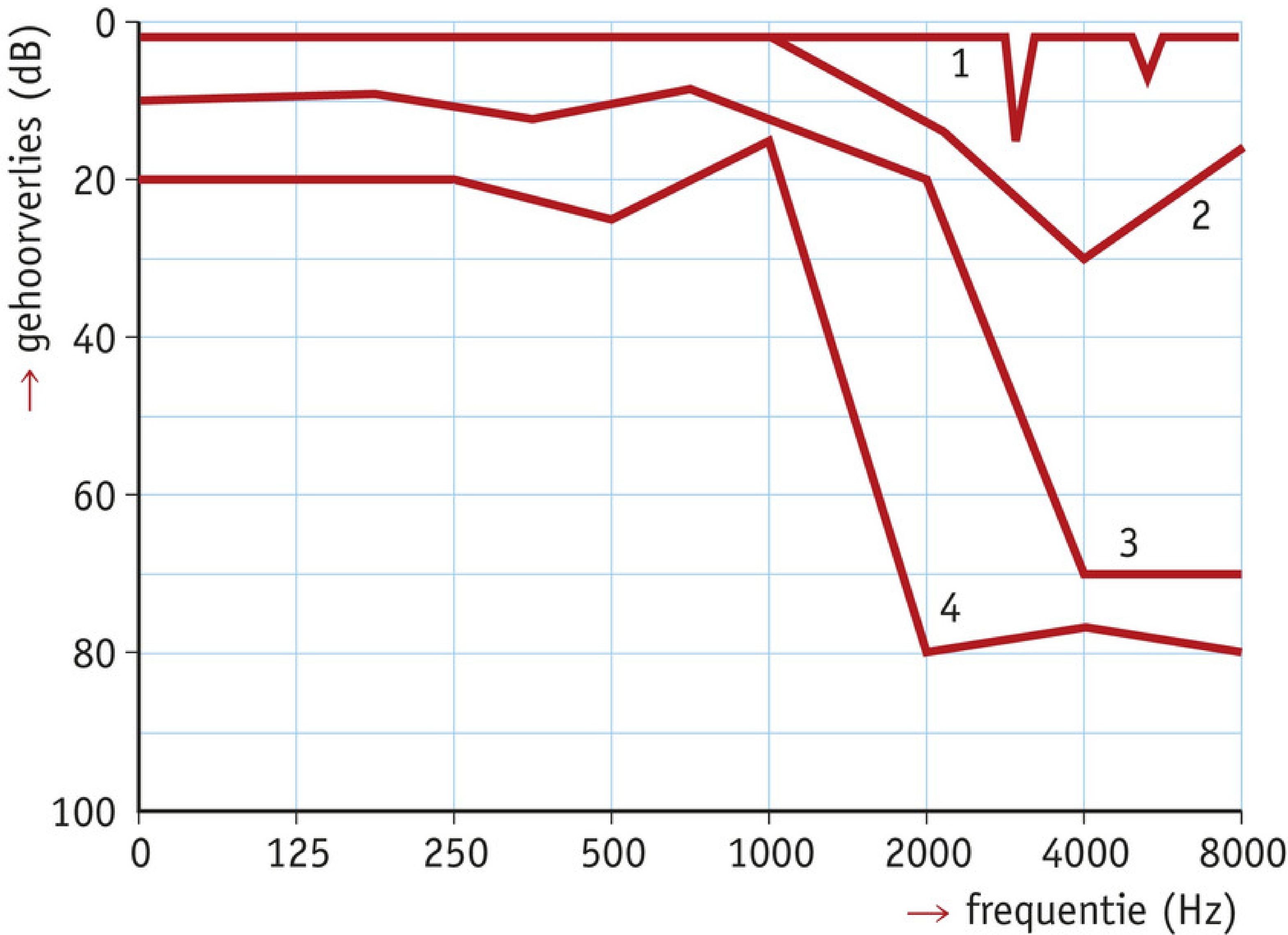
- **a** Teken in figuur a op het werkblad het audiogram van Hans.
- **b** Teken in figuur b op het werkblad het audiogram van Bert.
- **c** Van welke jongen is het gehoor niet in orde?
- **d** Welke tonen kan hij minder goed horen?

▼ **tabel 5** de uitkomst van twee gehoortesten

frequentie (Hz)	Hans: afwijking in dB(A)	Bert: afwijking in dB(A)
250	2	62
500	0	48
1000	0	25
2000	-2	7
4000	-2	3
8000	0	2

***47** Lawaaidoofheid ontstaat wanneer je oren te lang aan lawaai hebben blootgestaan. In figuur 40 zie je audiogrammen van mensen in verschillende stadia van lawaaidoofheid.

- **a** Wat betekent gehoorschade in stadium 3 of 4 voor het luisteren naar muziek?
- **b** Iemand met gehoorschade in stadium 3 krijgt een gehoorapparaat. Schets in een grafiek hoe het gehoorapparaat het geluid zal moeten versterken. Zet de versterking (in decibel) uit tegen de frequentie (in herz).



▶ **figuur 40**
audiogrammen van mensen in verschillende stadia van lawaaidoofheid

Practicum

Proef 1 De stemvork 15 min

Inleiding
Geluid ontstaat als voorwerpen trillen, zoals een stemvork of een luidspreker. Door de beweging van zo'n geluidsbron wordt de omringende lucht ook in trilling gebracht. Zo kan het geluid je oren bereiken.

Doel
Bij deze proef ga je het trillen van een stemvork onderzoeken.

Nodig
- stemvork 440 Hz
- bekerglas

Uitvoeren en uitwerken
– Sla de stemvork aan. Luister naar de toon die je hoort.
– Sla de stemvork opnieuw aan. Zet hem vervolgens met zijn onderkant op de tafel.
– Luister weer naar de toon.

1 Welk verschil hoor je met de eerste keer?

– Sla de stemvork aan. Voel met je nagel aan een been van de stemvork.

2 Wat voel je?

– Vul het bekerglas voor driekwart met water. Sla de stemvork aan. Raak met één been van de stemvork het wateroppervlak aan. Pas op dat je de rand van het glas niet raakt!

3 Wat zie je?

– Sla de stemvork aan en houd hem met zijn onderkant op verschillende plaatsen tegen je hoofd.

4 Wanneer klinkt de stemvork het luidst?

Proef 2 De luidspreker 15 min

Inleiding
In luidsprekers zit een kegelvormig onderdeel dat de conus wordt genoemd. Deze conus kan heen en weer bewegen en zo de omringende lucht in trilling brengen.

Doel
Bij deze proef kom je erachter hoe een luidspreker de lucht in trilling brengt.

Nodig
- luidspreker
- twee snoeren
- voedingskastje

Uitvoeren en uitwerken
– Sluit de luidspreker aan op een gelijkspanning van 4,5 V (figuur 41). Kijk tijdens het aansluiten naar de conus.

1 Beweegt de conus nu naar binnen of naar buiten?

– Wissel de twee aansluitingen op het voedingskastje om.

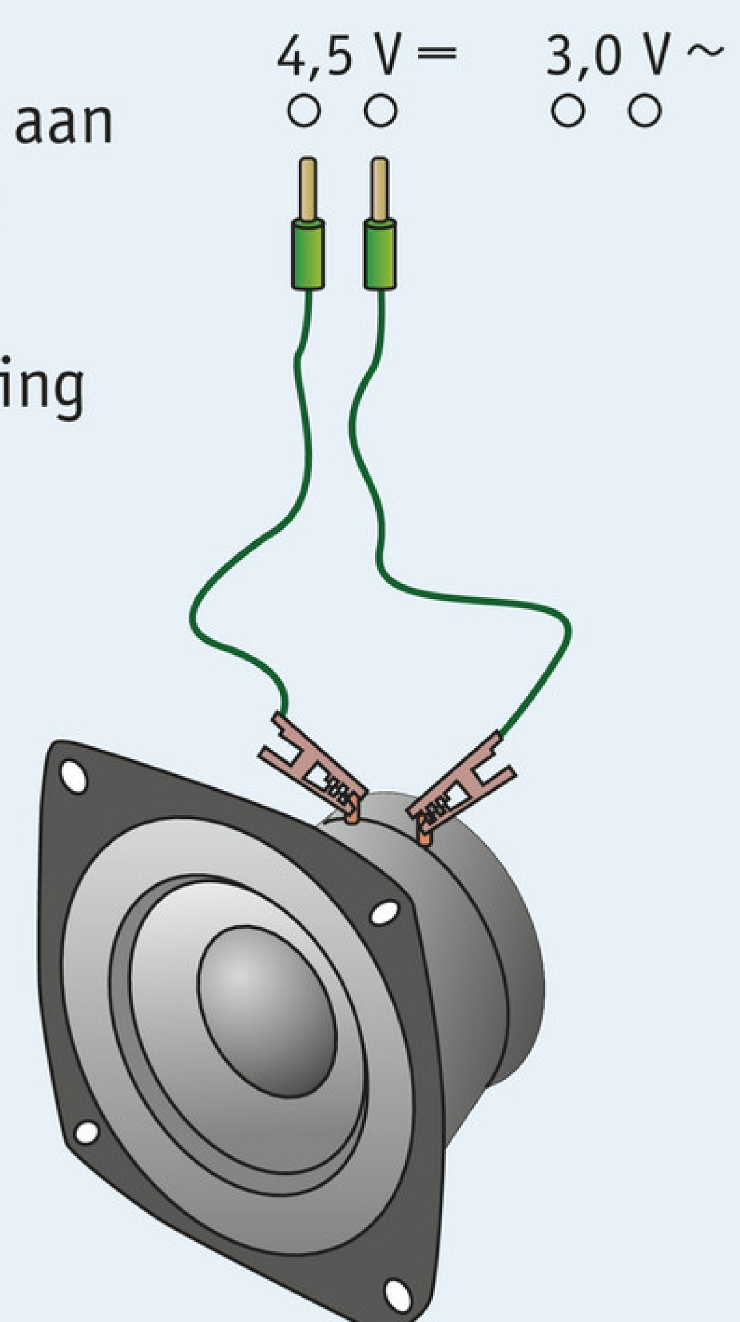
2 Beweegt de conus nu naar binnen of naar buiten?

– Sluit nu de luidspreker aan op een wisselspanning van 3 V.
– Let op! Maak de spanning niet groter dan 3,0 V.

3 Wat hoor je?

– Voel voorzichtig aan de conus.

4 Wat voel je?



▲ **figuur 41**
de opstelling van proef 2

Proef 3 Je stem als geluidsbron 30 min

Inleiding
Als je praat of zingt, maak je gebruik van je spraak-orgaan. Je stembanden produceren trillingen die daarna worden 'bewerkt' in de keel en de mond. Op die manier ontstaan stemhebbende klanken, zoals de 'aa' en de 'mm'. Je kunt met je tong en lippen ook stemloze klanken maken (waarbij de stembanden niet trillen), zoals de 'p' en de 's'.

Doel
Bij deze proef ga je onderzoeken hoe je met je stem allerlei verschillende klanken kunt maken.

Nodig
- een kleine spiegel

Uitvoeren en uitwerken
– Strek je nek en doe je kin omhoog. Leg je vingers op je hals terwijl je 'mmmm' zegt.

1 Beschrijf wat je met je vingers voelt op het moment dat je 'mmmm' zegt.

– Houd de spiegel vlak voor je mond, op ongeveer 1 cm (figuur 42).



▲ **figuur 42**
Kijk goed naar hoe je mond beweegt.

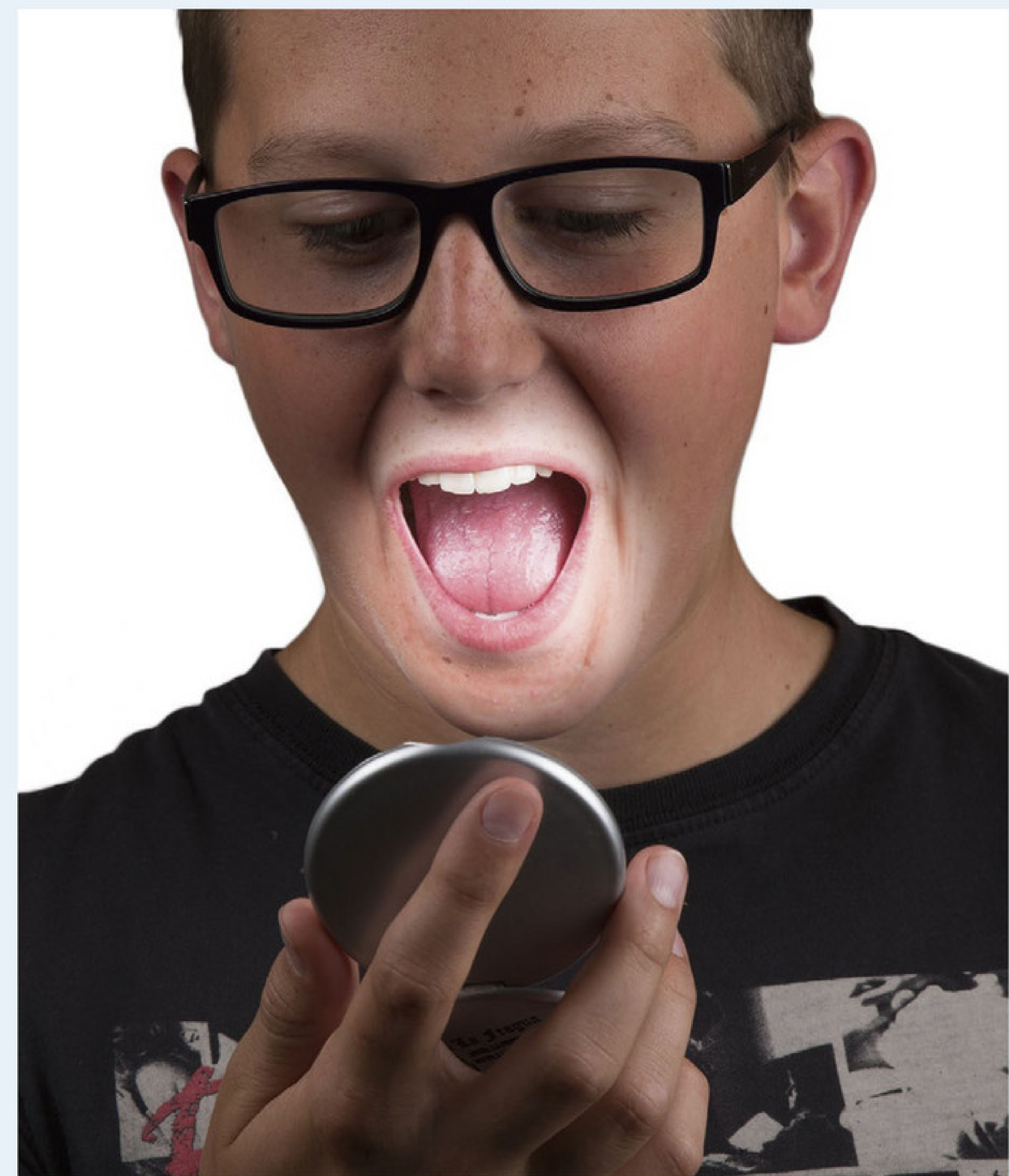
– Zeg nu een paar keer duidelijk en langzaam: "In Loosdrecht kun je kano's huren."

2 Beschrijf zo precies mogelijk wat je achtereenvolgens ziet.

– Leg de spiegel even weg. Houd nu je hand voor je mond, terwijl je dezelfde zin herhaalt.

3 Beschrijf zo precies mogelijk wat je achtereenvolgens voelt.

– Laat het licht van een lichtbron via het spiegeltje in je mond vallen, zodat je diep in je mond kunt kijken (figuur 43).



▲ **figuur 43**
Kijk goed naar wat er in je mond gebeurt.

– Zeg 'aaaaaa' (lang aanhouden) en kijk via de spiegel naar je mond.

4 Beschrijf zo precies mogelijk wat je mond doet.

– Zeg 'oooooo'.

5 Beschrijf zo precies mogelijk wat je mond doet.

– Zeg 'iiiiii'.

6 Beschrijf zo precies mogelijk wat je mond doet.

- Leg het spiegeltje weg.
- Let bij de volgende opdracht goed op je tong.
- Zeg 'rrrrrr'.

7 Hoe hield je je tong toen je 'rrrrrr' zei?
8 Wat voelde je bewegen in je mond?

- Let op je tong en lippen en zeg 'ssssss'.

9 Hoe hield je je tong en lippen toen je 'ssssss' zei?
10 Beschrijf hoe de lucht uit je mond stroomt.

- Zeg de 't' een paar keer.

11 Leg zo precies mogelijk uit hoe je deze klank produceert.

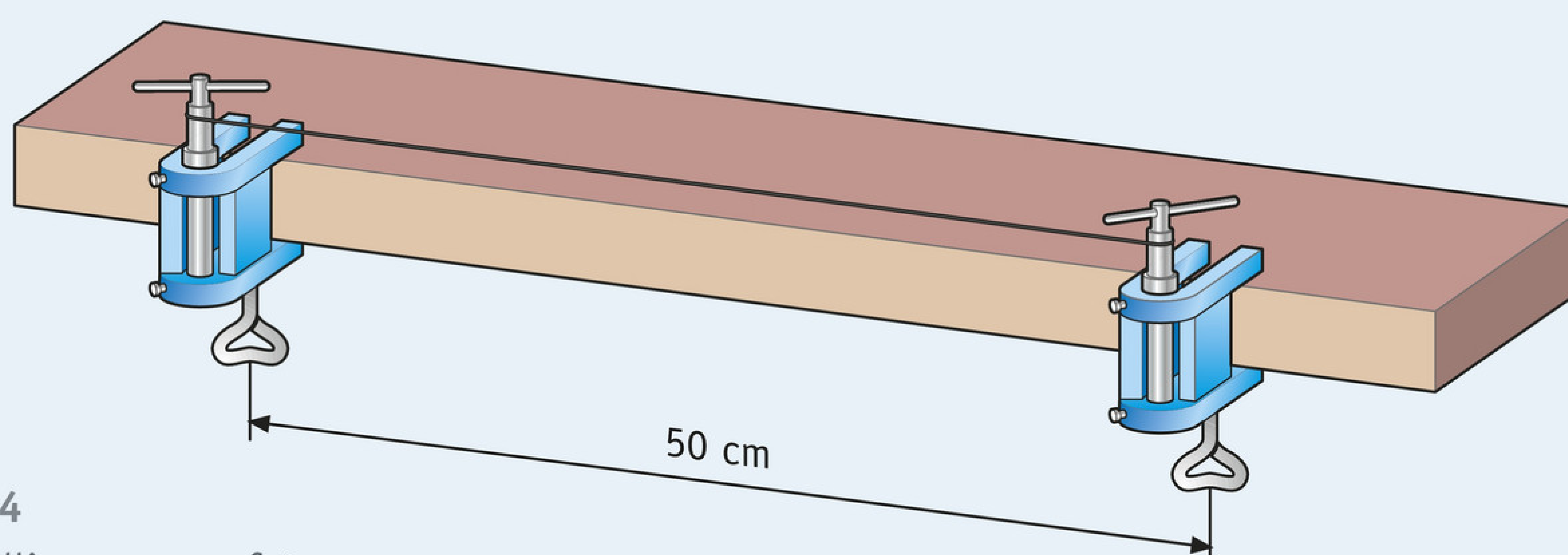
Proef 4 Tonen van snaren 30 min

Let op! Als je een snaar te strak aanspant, kan hij breken. Dat is gevaarlijk, want een snaar kan je met een flinke kracht raken. Daarom is het verplicht om bij deze proef een veiligheidsbril te dragen.

Inleiding
Er zijn allerlei muziekinstrumenten die geluid produceren met trillende snaren. Denk aan een gitaar, een viool en een piano.

Doel
Bij deze proef onderzoek je van welke factoren de toon van een snaar afhangt.

Nodig
- veiligheidsbril
- twee tafelklemmen
- twee draadspanners
- dunne metalen snaar
- dikke metalen snaar
- rolmeter



▲ figuur 44
de opstelling van proef 4

Uitvoeren en uitwerken
- Zet je veiligheidsbril op!
- Zet de tafelklemmen 50 cm uit en klem ze op de tafel vast.
- Maak de dunne snaar tussen de klemmen vast (figuur 44).
- Span de dunne snaar een eindje, door aan een van de spanbouten te draaien.
- Trek voorzichtig met een wijsvinger aan het midden van de snaar en laat hem los.

1 Wat voor beweging maakt de snaar?

- Trek nog een keer aan de snaar.
- Luister vlak bij de snaar.

2 Hoor je geluid? Zo ja, wat valt je op aan het geluid?

- Breng de snaar opnieuw in trilling en pak hem voorzichtig vast.

3 Wat voel je?
4 Hoor je nog geluid als je de snaar vastpakt?

- Maak de dunne snaar aan één klem los.
- Maak ook één tafelklem los.
- Zet nu de klemmen dichter bij elkaar, zodat de afstand 25 cm is.
- Span de snaar weer tussen de klemmen. Probeer, op je gevoel, de spanning in de snaar net zo groot te maken als eerst.
- Breng de snaar weer aan het trillen en luister goed.

5 Is de toon hetzelfde als de eerste keer? Zo nee, wat is het verschil?

- Maak de dunne snaar los en leg hem opzij.
- Zet de klemmen weer 50 cm uit elkaar.
- Span de dikke snaar tussen de twee klemmen. Probeer de spanning net zo groot te maken als die van de dunne snaar.
- Breng de snaar aan het trillen en luister goed.

6 Is de toon hetzelfde als bij de dunne snaar van 50 cm? Zo nee, wat is het verschil?

- Zet nu de klemmen weer 25 cm uit elkaar en span de dikke snaar ertussen. Probeer de spanning in de snaar weer net zo groot te maken als eerst.
- Breng de snaar weer aan het trillen en luister goed.

7 Is de toon hetzelfde als bij de dikke snaar van 50 cm? Zo nee, wat is het verschil?

- Span de snaar nu iets strakker.
- Breng hem weer aan het trillen en luister goed.

8 Is de toon veranderd door het spannen? Zo ja, hoe?

Proef 5 De trillende liniaal 10 min

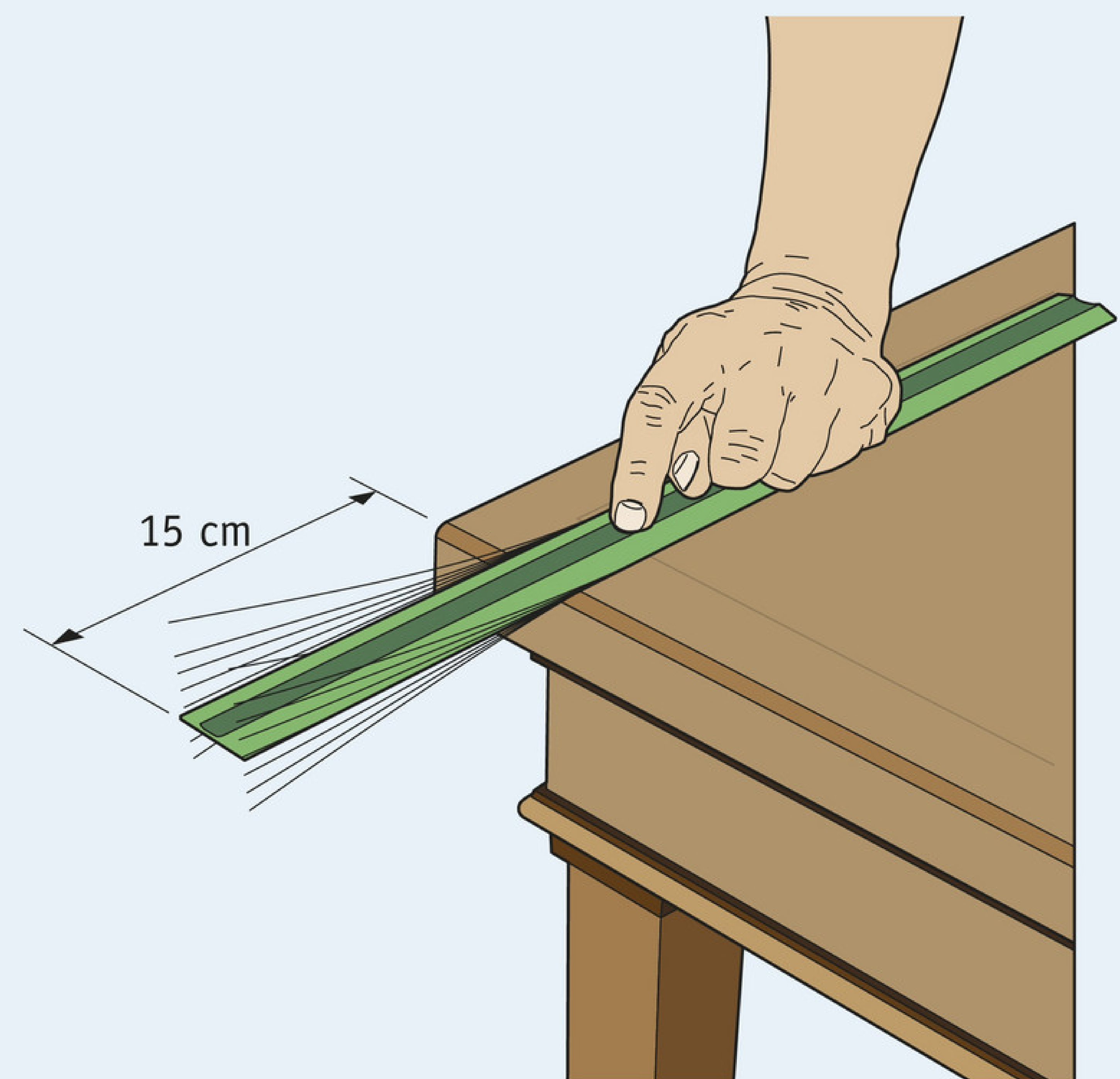
Inleiding
Een toonladder bestaat uit tonen met een verschillende toonhoogte. Elke noot heeft zijn eigen toonhoogte. Die toonhoogte heeft te maken met de frequentie van het geluid: het aantal trillingen per seconde.

Doel
Bij deze proef ga je hoge en lage tonen maken met een liniaal.

Nodig
- metalen liniaal

Uitvoeren en uitwerken
- Duw de liniaal met je hand stevig op de tafel. Zorg ervoor dat 15 cm van de liniaal buiten je tafel uitsteekt.
- Breng dit uiteinde in trilling zoals in de tekening van figuur 45.
- Laat de liniaal 10 cm buiten je tafel uitsteken en breng hem weer in trilling.
- Doe dit nog eens, terwijl de liniaal 5 cm uitsteekt.

1 Welk verschil hoor je tussen de geluiden?
2 Wanneer is het geluid het hoogst?
3 Wanneer is het geluid het laagst?
4 Waaraan merk je dat de trilling in enkele seconden uitsterft?



▲ **figuur 45**
Zo kun je de liniaal laten trillen.

Proef 6 De frequentie van een trilling 45 min

Inleiding

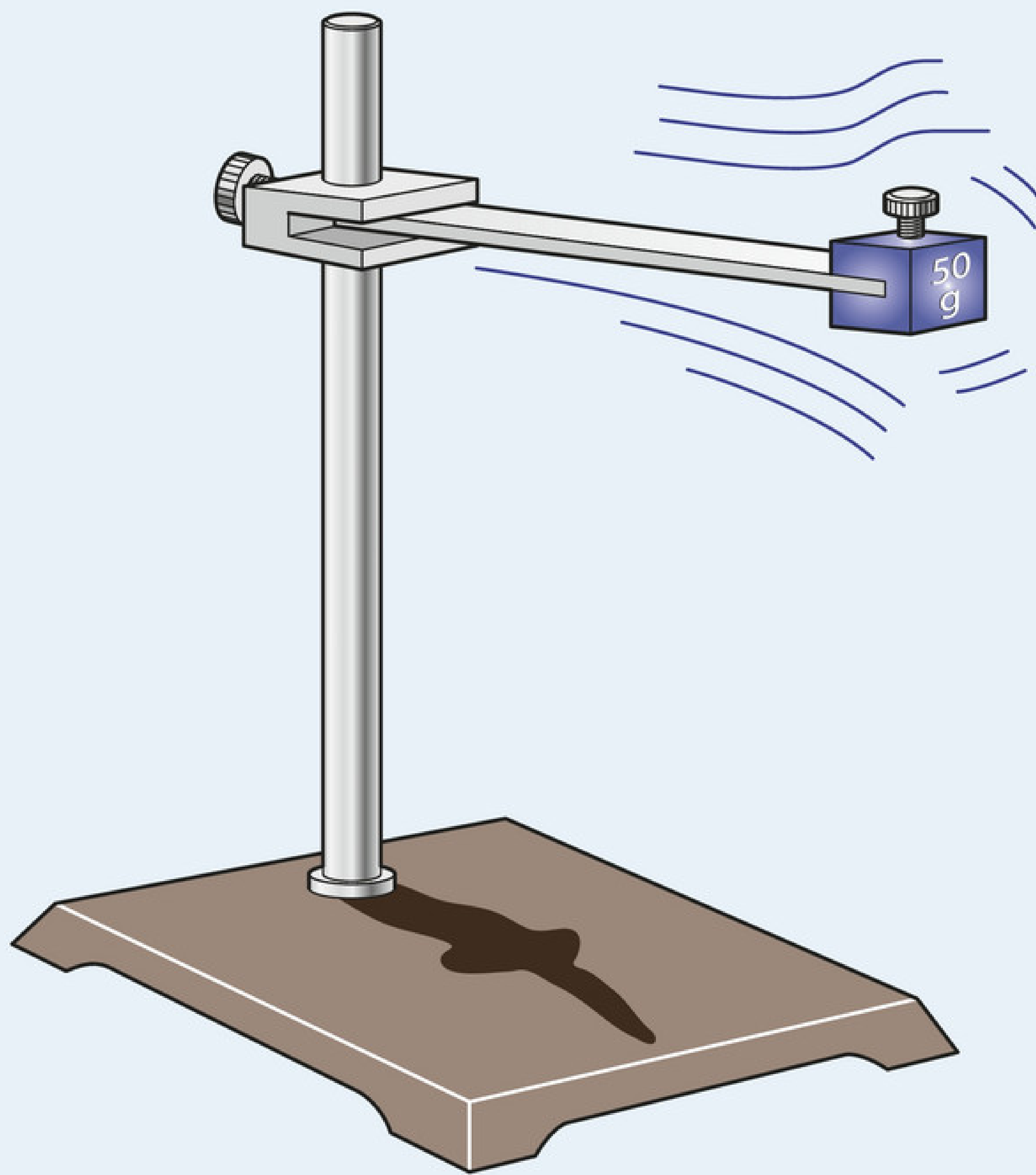
Als je het uiteinde van een zaagblad in beweging brengt, gaat het zaagblad trillen met een vaste trillingstijd. Je kunt de lengte van die trillingstijd veranderen door een massastuk aan het uiteinde van het zaagblad vast te maken.

Doel

Je onderzoekt hoe de frequentie van een trillend zaagblad afhangt van de massa aan het uiteinde van het blad.

Nodig

- zaagblad
- massastukken van 50 g
- stopwatch
- statiefmateriaal
- werkblad 7-2



▶ **figuur 46**
de opstelling van proef 6

Uitvoeren en uitwerken

Meten

- Maak het zaagblad vast aan je statief, zoals getekend in figuur 46.
- Bevestig een massastuk van 50 g aan het uiteinde van het zaagblad.
- Breng het zaagblad in trilling. Meet met de stopwatch de tijd die nodig is voor tien trillingen. Doe dit in totaal drie keer.

1 Neem tabel 6 over in je schrift. Zet je metingen in de tabel.
2 Bereken het gemiddelde van de drie metingen. Rond het resultaat af op één cijfer achter de komma. Zet dit getal op de juiste plaats in de tabel.
3 Bereken hoeveel tijd nodig is voor één trilling. Deze tijd noem je de trillingstijd *T* van de trilling. Zet de uitkomst in de tabel.
4 Bereken hoeveel trillingen het zaagblad per seconde uitvoert. Rond af op één cijfer achter de komma. Dit noem je de frequentie *f* van de trilling.

- Bevestig aan het uiteinde van het zaagblad achtereenvolgens massastukken van 100 en 150 g. Bepaal steeds met welke frequentie het blad dan trilt.

5 Noteer alle meetresultaten in de tabel.

Uitwerken

6 Pak werkblad 7-2 erbij. Teken een grafiek van je proef waarin je de frequentie uitzet tegen de massa.
7 Welke conclusie kun je uit de grafiek trekken?
8 Wat zal er met de toon van een stemvork gebeuren als je aan elk been een massastuk vastschroeft?

▼ **tabel 6** de resultaten van proef 6

	meting 1	meting 2	meting 3	gemiddelde	*T* (s)	*f* (Hz)
zaagblad met 50 g						
zaagblad met 100 g						
zaagblad met 150 g						

Proef 7 Een onderzoek uitvoeren: het gevaar van harde muziek 45 min

Inleiding

Stel je voor: je leest in de *Spits* dat gehoorschade bij jongeren door muziek een “onderschat en groeiend probleem” is. Volgens GGD-onderzoeker Donné Schmidt heeft het “veel te harde” geluid op festivals en in discotheken “een enorme impact.” Andere boosdoeners zijn mp3-spelers en smartphones die meestal veel te hard staan. Volgens Schmidt heeft meer dan de helft van de jongvolwassenen een gehoorverlies van minstens 10 dB. Jij vraagt je af of het allemaal zo erg is en besluit om zelf een onderzoek uit te voeren.

Doel

Bij deze proef ga je een onderzoek doen naar geluidniveaus van muziek om te bepalen hoeveel risico de luisteraars lopen. Bedenk zelf een goede onderzoeksvraag voor dit onderzoek.

Nodig

Je kunt het onderzoek uitvoeren met een smartphone of tablet, waarop je een geschikte app hebt gezet. Je kunt zo’n app vinden door “gehoor apps” of “decibelmeter apps” in te typen (inclusief de aanhalingstekens).

Uitvoeren en uitwerken

– Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ga je na hoe hard het geluid ‘normaal’ staat voor jouw luisteraars? Hoe ga je de geluidssterkte meten (en heb je daarvoor wel de juiste app gekozen)? Hoe ga je een verband leggen tussen jouw meetresultaten en de risico’s die de luisteraars lopen?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

– De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
– Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

– Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.

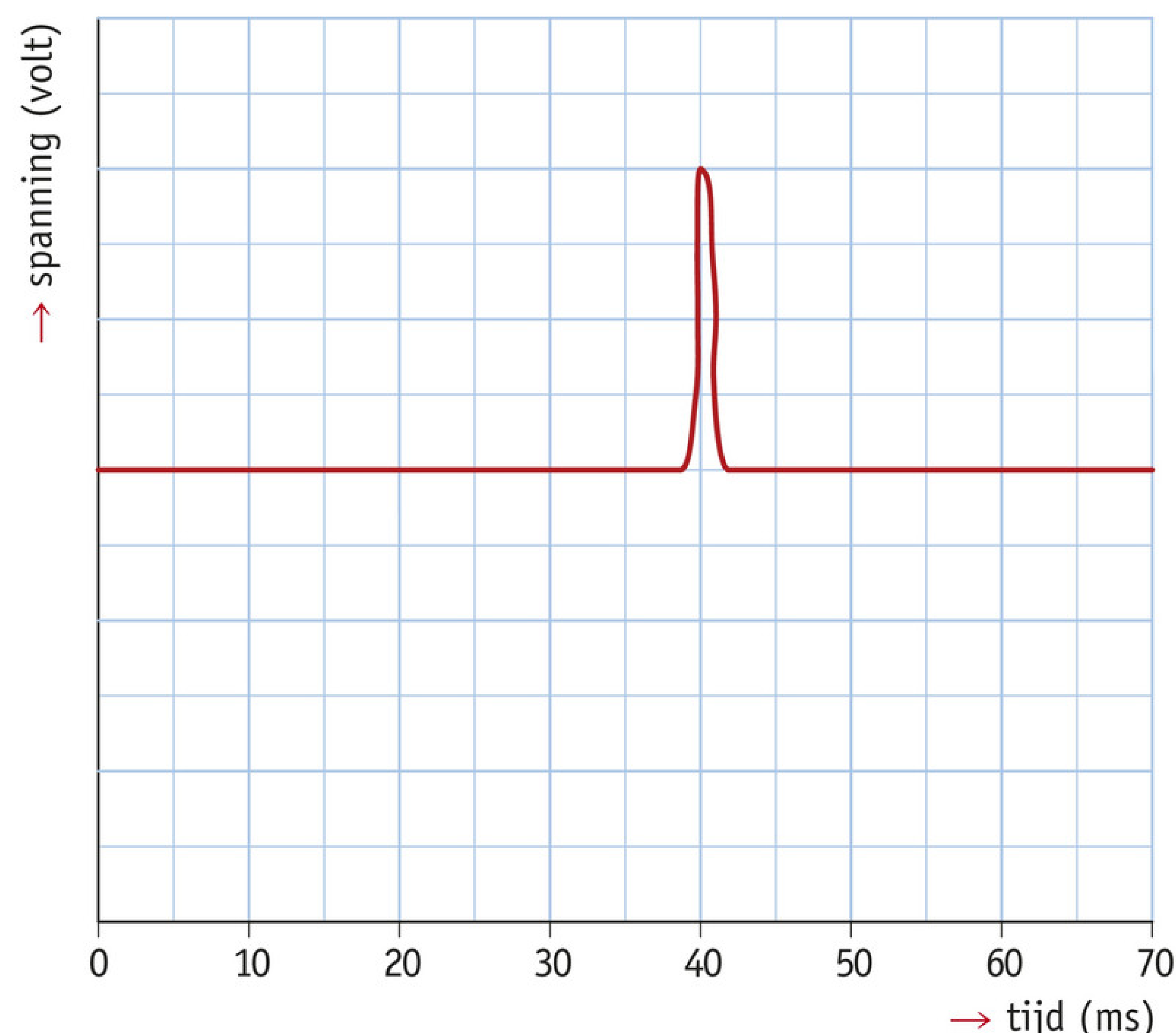
1 Hieronder staan drie grootheden en drie eenheden.
decibel – frequentie – geluidssterkte – hertz – seconde – trillingstijd
a Neem tabel 7 over. Noteer links de grootheden, in alfabetische volgorde.
b Zet in de rechter kolom achter elke grootheid de bijbehorende eenheid.

▼ **tabel 7** grootheden en eenheden

grootheid	eenheid

2 Daan hoort in het aangrenzende lokaal een leerling fluiten. Door welke twee tussenstoffen verplaatst het geluid zich hoofdzakelijk van die leerling naar zijn oren?
Kies uit: *baksteen / glas / glaswol / hout / lucht / papier / water.*

3 Karin ziet op 136 m boven haar hoofd een vuurpijl ontploffen. De geluidssnelheid bedraagt 340 m/s.
Bereken hoeveel later Karin de knal hoort.



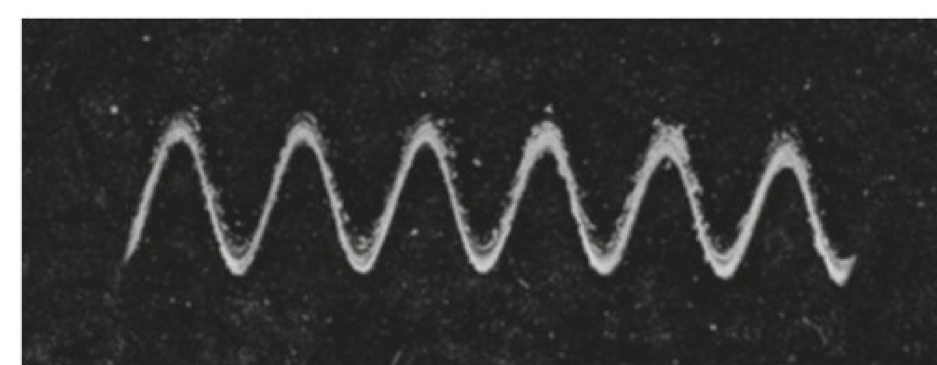
▲ **figuur 47**
Hoe groot is de geluidssnelheid in rubber?

4 Om de geluidssnelheid in rubber te bepalen, stuurt Gerben op t = 0 s een geluidspuls door een rubber staaf van 2,0 m lengte. Aan het andere uiteinde registreert een sensor de aankomst van de puls. De sensor is aangesloten op een computer die de meetresultaten weergeeft in een grafiek (figuur 47).
a Na hoeveel tijd kwam de puls bij de sensor aan?
b Bereken de geluidssnelheid in rubber.

5 Een oceanograaf wil de diepte van de zee bepalen. Vanuit het onderzoeksschip stuurt een zender een geluidssignaal naar beneden. Na 3,0 s vangt de ontvanger naast de zender de echo weer op. De geluidssnelheid in zeewater is 1,5 km/s.
Bereken hoe diep de zee is.

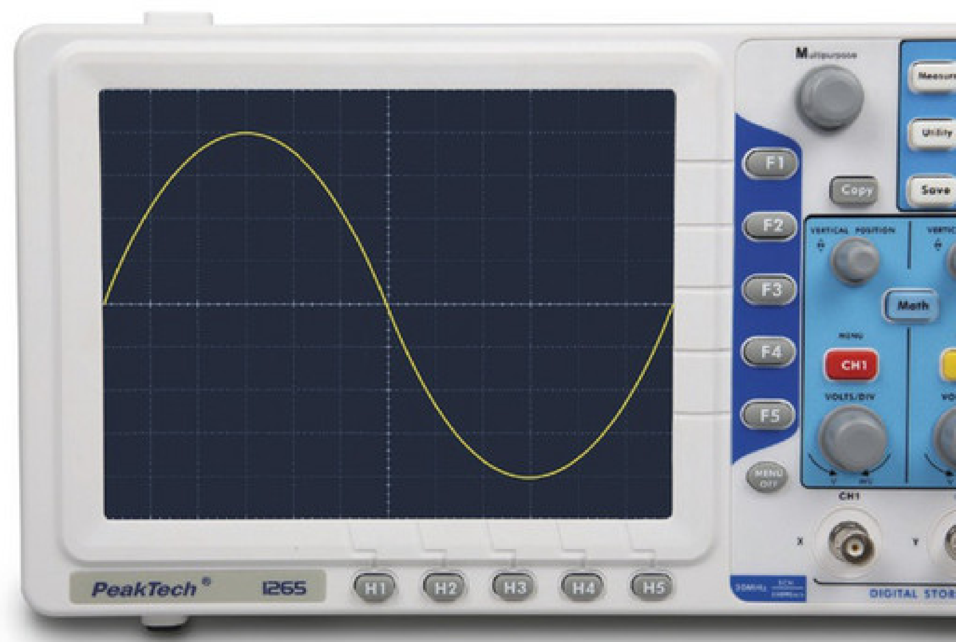
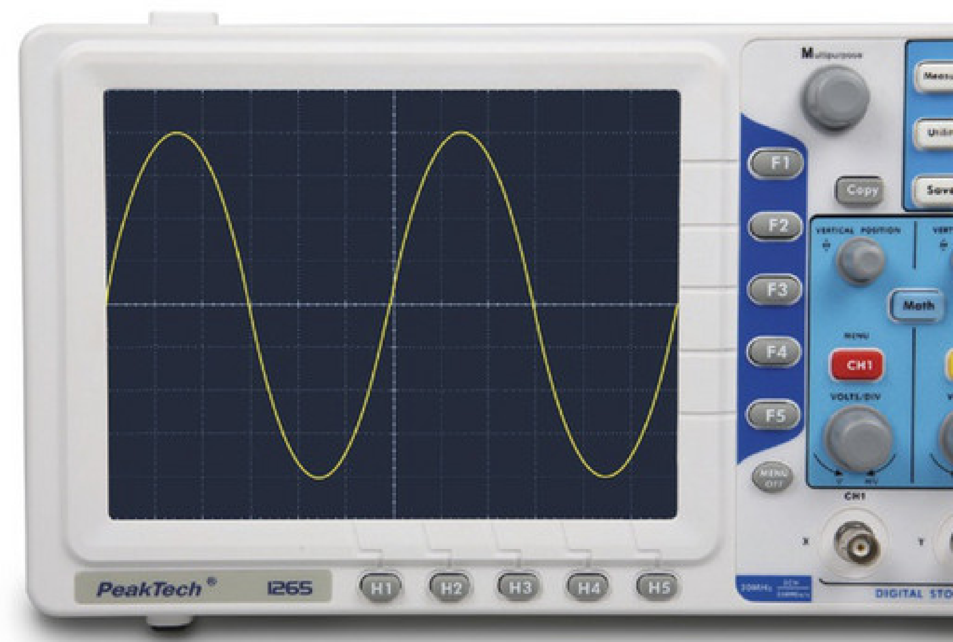
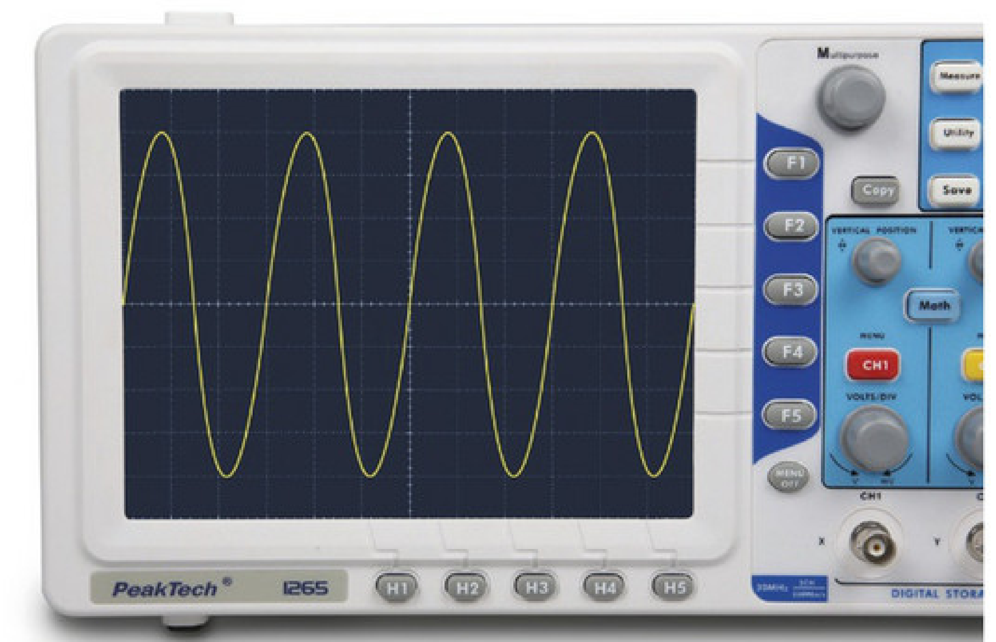
6 Een gitarist draait een snaar iets losser.
Wat gebeurt er met de toonhoogte?

7 Marco slaat een stemvork aan. Daarna trekt hij de schrijfstift, die aan één van de beide benen vastzit, over een beroete plaat. Hij krijgt het spoor van figuur 48. Het golfspoor is in 0,030 s gemaakt.
a Hoeveel trillingen zijn er in het golfspoor zichtbaar?
b Bereken de frequentie van de trillende stemvork.



▲ **figuur 48**
een golfspoor

8 Een hommel maakt met zijn vleugels een brommend geluid. De frequentie van dat geluid is 250 Hz.
a Bereken hoe lang een volledige trilling van de vleugels duurt.
b Om het vliegedrag van de hommel goed te kunnen bestuderen, maakt een bioloog opnames met een ‘snelle’ camera. Deze camera maakt maar liefst vierduizend beelden per seconde. Bereken hoeveel verschillende beelden er zo van een volledige vleugelbeweging kunnen worden gemaakt.

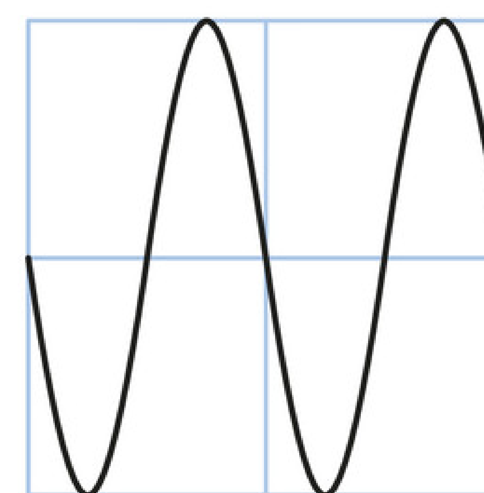
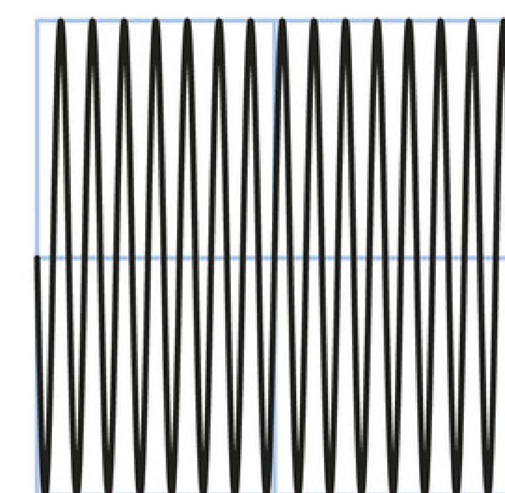
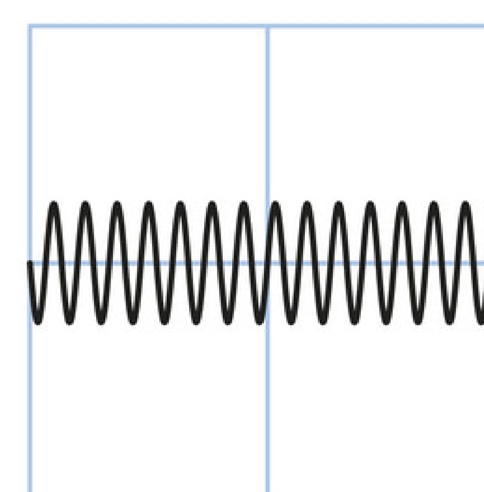
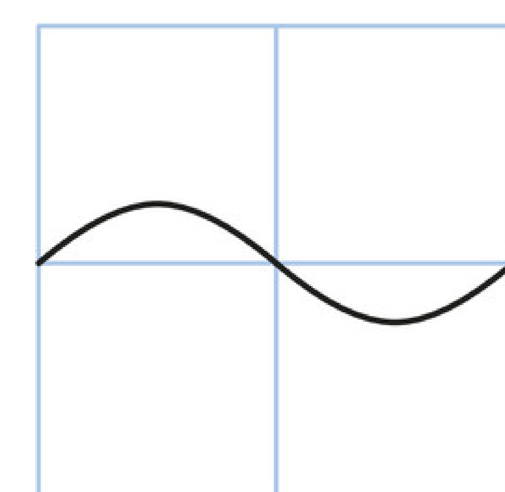
▲ **figuur 49**
de oscilloscoopbeelden van drie tonen

9 Op een oscilloscoop is drie keer een toon afgebeeld (figuur 49).
- **a** De tijdbasis in figuur 49a is ingesteld op 0,2 ms/div.
  Bepaal de frequentie van deze toon.
- **b** De tijdbasis in figuur 49b is ingesteld op 2 ms/div.
  Bepaal de frequentie van deze toon.
- **c** De tijdbasis in figuur 49c is ingesteld op 1 ms/div.
  Bepaal de frequentie van deze toon.

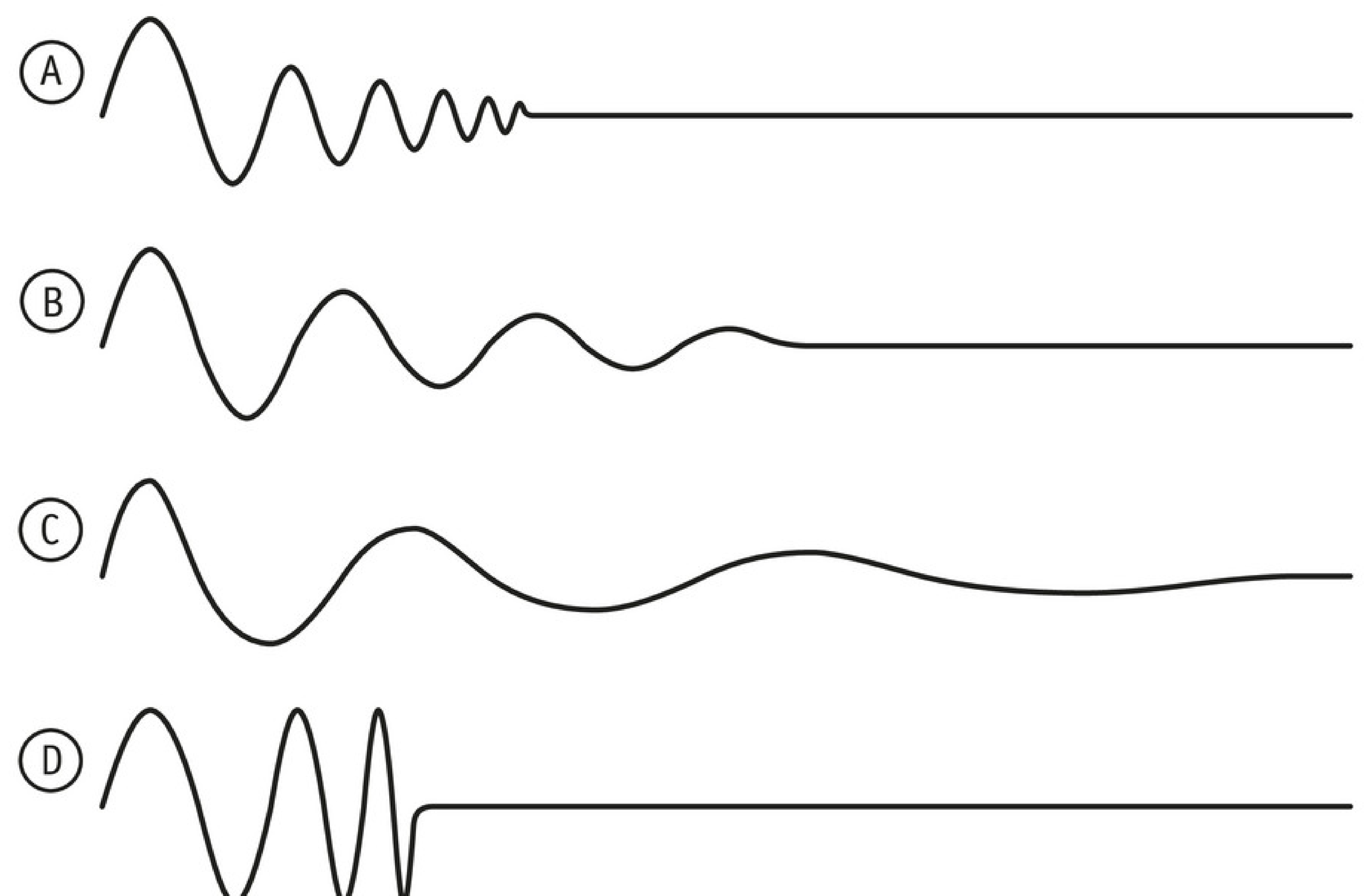
10 Een pianotoets wordt twee keer aangeslagen. Eerst zacht, dan hard.
Wat verandert er aan de geluidstrilling?
- A de amplitude
- B de frequentie
- C de trillingstijd
- D de amplitude en de frequentie
- E de frequentie en de trillingstijd

11 Een stemvork met een dunne stift aan het uiteinde wordt van links naar rechts over een beroete glasplaat getrokken. Dit gebeurt met constante snelheid. De trilling dooft daarbij snel uit (figuur 50).
In welk van de vier figuren is dit het beste weergegeven: A, B, C of D?

12 In figuur 51 zie je vier verschillende beelden van een oscilloscoopscherm (met dezelfde instelling).
Welke twee beelden:
- **a** geven de geluiden weer met de hoogste frequentie?
- **b** geven de geluiden weer met de grootste geluidssterkte?

▲ **figuur 51**
de oscilloscoopbeelden van vier verschillende geluiden



▶ **figuur 50**
In welke figuur zie je de snel uitdovende trilling van een stemvork?

13 Bij een solo van een saxofonist meet Tom op 5 m van het podium een (gemiddelde) geluidssterkte van 93 dB. Even later doen er nog drie andere saxofonisten mee die allen even hard spelen.
Wat zal de dB-meter nu aangeven?

14 Hieronder staan vijf manieren om geluidsoverlast tegen te gaan.
Noteer achter elke manier of het gaat om:
- een maatregel bij de bron (B);
- een maatregel tussen bron en ontvanger (T);
- een maatregel bij de ontvanger (O).

a Een knalpijp op een benzinemotor monteren.
b Lawaaiige vliegtuigen niet tot Nederland toelaten.
c Huizen isoleren die vlak bij een vliegveld liggen.
d Een geluidswal tussen snelweg en wijk aanleggen.
e Geluidsarm asfalt aanbrengen op doorgaande wegen.

15 Noteer steeds de juiste mogelijkheid.
Materiaal dat geluid moet absorberen, zoals *beton / glaswol,* is *hard / zacht* en *glad / poreus*.
Als je een muur bekleedt met dit materiaal, laat hij daarna *meer / minder* geluid door. Dat kun je nagaan door de *geluidssterkte / frequentie* te meten van het doorgelaten geluid.

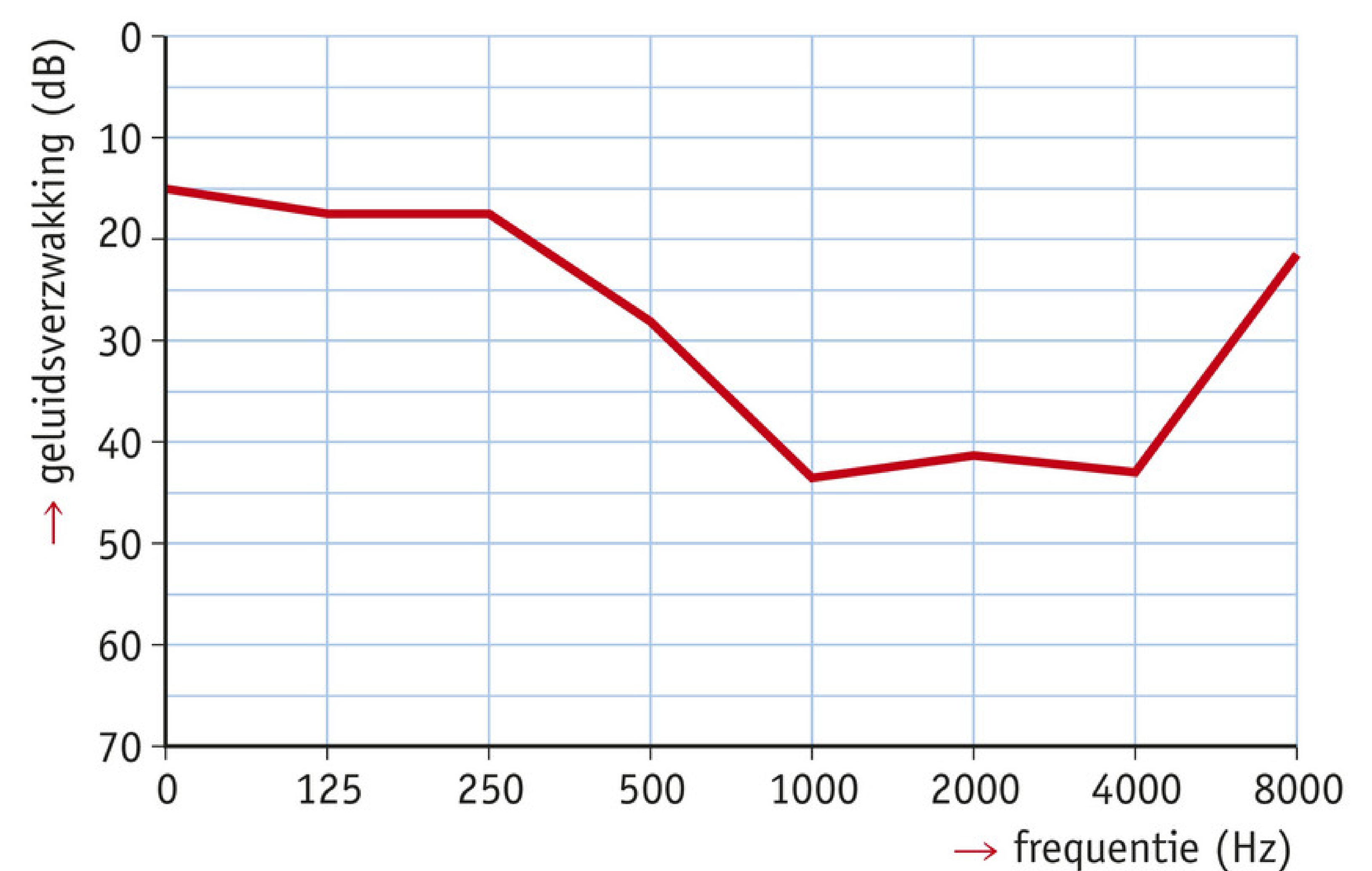
16 Noteer of de volgende uitspraken waar (W) zijn of onwaar (O).
a De geluidssterkte wordt meestal gemeten in hertz (Hz).
b Mensen kunnen tonen horen van 200 tot ± 200 000 Hz.
c De pijngrens ligt in de buurt van de 140 dB(A).
d Geluid van 60 dB(A) is niet gevaarlijk voor je gehoor.
e Geluidsschermen zijn bedoeld om geluid te weerkaatsen.

17 In een reclame voor stofzuigers staat dat het type Samsung VC-6012 een geluidsniveau van 74 dB(A) produceert.
a Wat betekent de A achter de eenheid dB?
b Wat is de fabrikant vergeten op te geven bij het vermelden van het geluidsniveau?

18 Giovanni houdt veel van zingen. Hij zingt graag in de badkamer, omdat het daar zo heerlijk galmt.
Hoe komt het dat je in een badkamer meer nagalm hoort dan in een slaapkamer?

19 Het zaagblad van een cirkelzaag heeft 26 tandjes. Bij het zagen maakt het zaagblad 2400 omwentelingen per minuut. Je hoort dan een hoog snerpend geluid.
Bereken de frequentie van dit geluid. Schrijf de hele berekening zorgvuldig op. Rond het antwoord af op een geheel getal.

20 In de grafiek van figuur 52 is weergegeven hoe sterk het geluid wordt verzwakt als je oorkappen draagt. Hoe sterk het geluid wordt verzwakt, hangt af van de frequentie van het geluid.
a Hoe groot is de frequentie van het geluid dat het meest wordt verzwakt?
b Met hoeveel decibel wordt de sterkte van dit geluid verminderd?
c Zouden deze oorkappen bruikbaar zijn voor een muzikant?



▲ **figuur 52**
Oorkappen beschermen je oren.

***21** Lees het artikel van figuur 53.

a Leg uit of je het achtergrondgeluid in deze kamer nog kunt horen.

b De wanden van deze kamer kaatsen geluid niet terug.
Leg uit waardoor dat komt.

c Leg uit hoe het kan dat je in die kamer je hartslag gaat horen.

Gekmakende stilte

Op de stilste plek op aarde blijkt dat stilte niet bestaat. In een geluiddichte 'dode kamer' in Minnesota hoor je je hartslag, het gegorgel van je ingewanden, het bloed dat door je aderen stroomt … Gekmakend.
Volgens het *Guinness Book of Records* is het de stilste plek op aarde. In deze rumoerige tijden moet dat velen paradijselijk in de oren klinken, maar dat is het niet. Geen mens houdt het lang vol in deze ruimte. Het record staat op drie kwartier.
Stil is het er zeker, de achtergrondgeluiden zijn teruggebracht tot –9,4 decibel. Proefpersonen krijgen onherroepelijk de neiging wat te gaan roepen om maar iets van een geluid om zich heen te hebben. Hun kreten verdwijnen echter in de metersdikke absorptielagen aan de wanden.

Bron: Trouw

▲ **figuur 53**
de stilste plek op aarde



KIJKEN MET GELUID

"Als je de 3D-bril opzet, zie je het embryo voor je in de ruimte hangen, sterk vergroot en volledig driedimensionaal. Je hebt het gevoel dat je het zomaar aan kunt raken. Dat gevoel wordt nog sterker, als je het kind met behulp van de pointer laat draaien, zodat je het van een andere kant kunt bekijken. Als je niet oppast, vergeet je dat het alleen maar om een plaatje gaat. Een heel slim gemaakt plaatje, dat wel."



Artsen van het Erasmus Medisch Centrum zijn enthousiast over een nieuwe vorm van echoscopie, waarbij de resultaten van een echo ruimtelijk worden weergegeven. De *virtual reality software* die de 3D-beelden maakt, is ontwikkeld door de afdeling Bio-informatica van het Rotterdamse ziekenhuis. Met het nieuwe systeem kunnen artsen de ontwikkeling van een embryo al vanaf de eerste weken van de zwangerschap volgen. Zo kunnen risicozwangerschappen extra goed in de gaten gehouden worden.

Sonar: onder water kijken

In de loop van de tijd zijn er allerlei manieren ontwikkeld om te kijken met geluid. De 3D-echoscopie van het Erasmus Medisch Centrum is de laatste stap in een lange ontwikkeling. Het basisidee is eigenlijk heel eenvoudig. Geluid wordt gereflecteerd op het grensvlak van twee verschillende materialen. Je kunt erachter komen waar dat grensvlak zich bevindt, door geluid uit te zenden en te wachten tot de reflectie – de echo – jou weer bereikt.

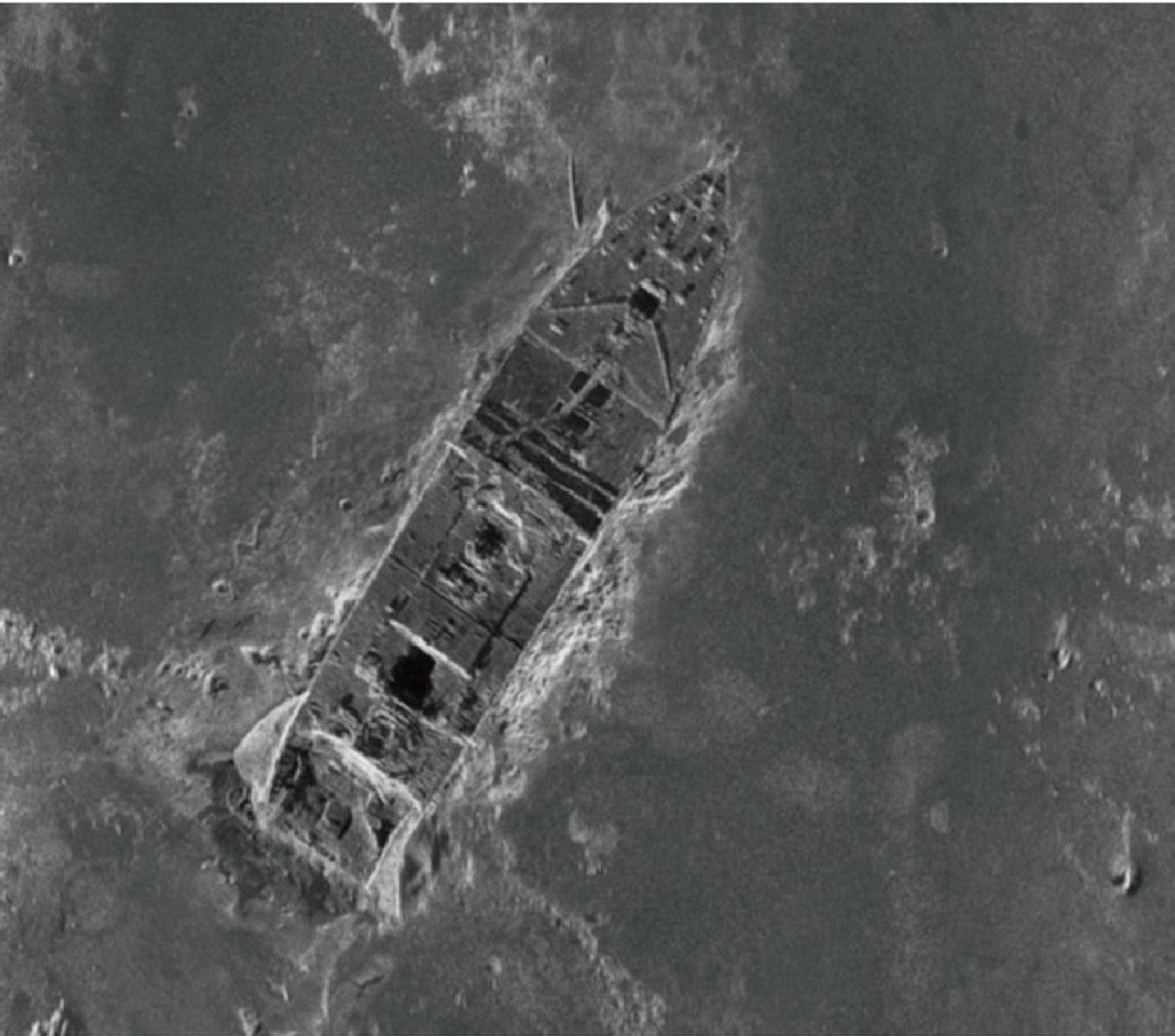
Sonar kan worden gebruikt om ijsbergen onder water te detecteren.

Dit basisidee werd voor het eerst toegepast in sonar (een afkorting van *sound navigation and ranging*). Bij deze techniek wordt geluid gebruikt om voorwerpen onder het wateroppervlak te kunnen zien. Geluid wordt bijvoorbeeld sterk weerkaatst op het grensvlak van water en ijs. Sonar kan daarom gebruikt worden om ijsbergen onder water te detecteren. Dat is erg nuttig, omdat een ijsberg zich voor 90% onder water bevindt en daar een onzichtbaar gevaar vormt.

Sonar werd een groot succes. De techniek werd niet alleen gebruikt voor het detecteren van ijsbergen, maar ook voor het navigeren in ondiep water en voor het lokaliseren van scholen vis. In de Tweede Wereldoorlog werd sonar een belangrijk hulpmiddel voor het opsporen van vijandelijke duikboten. Mede dankzij de inzet van sonar wonnen de geallieerden de duikbotenoorlog met nazi-Duitsland.

Een explosief experiment

Al snel ontstonden er meer ideeën om dingen in beeld te brengen met



Sonarbeelden van de Titanic

In 1912 werd het eerste patent voor sonar aangevraagd, een maand nadat het beroemde passagiersschip de *Titanic* tegen een ijsberg was aangevaren en gezonken. Bij deze ramp vielen meer dan vijftienhonderd doden. In 2012, honderd jaar later, werd het wrak van de *Titanic* nauwkeurig in beeld gebracht met geavanceerde sonarcamera's. De beelden laten overtuigend zien hoe ver de techniek inmiddels gevorderd is.

geluid. In 1921 voerde een groep onderzoekers in de Verenigde Staten een experiment uit om zo'n idee uit te proberen. Ze lieten een flinke lading dynamiet ontploffen om zo krachtige geluidsgolven de bodem in te sturen. Net als de bedenkers van sonar waren ze geïnteresseerd in de reflecties die dan zouden ontstaan.

De onderzoekers wisten dat de geluidsgolven weerkaatst zouden worden op het grensvlak tussen twee gesteentelagen. Maar ze wisten niet of de reflecties sterk genoeg waren om ze aan het aardoppervlak te kunnen detecteren. Dat laatste bleek wel het geval en daarmee was de reflectieseismiek geboren. Deze techniek wordt nu over de hele wereld gebruikt om ondergrondse voorraden aan olie en gas op te sporen.

Echo's uit het lichaam

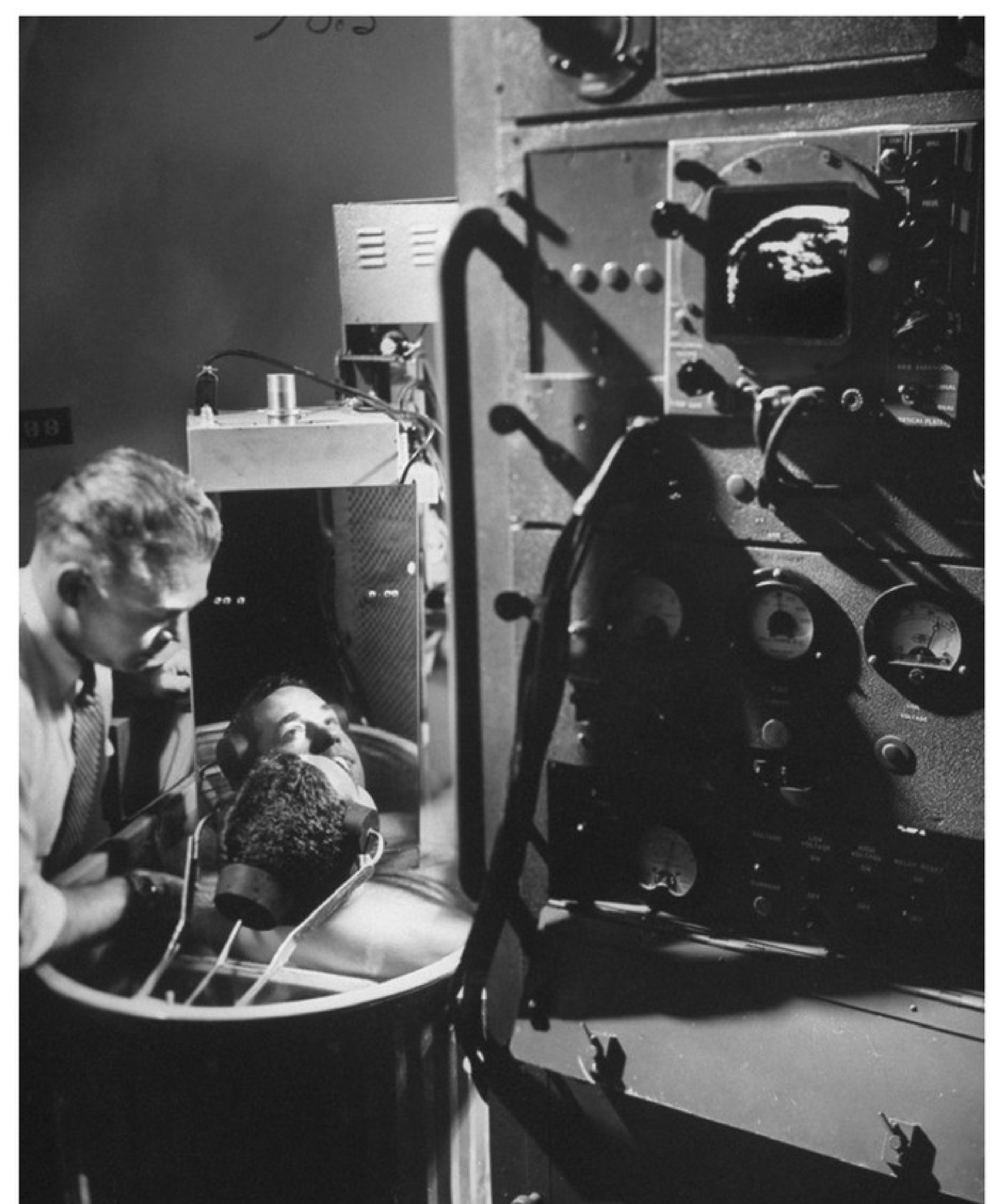
Het succes van sonar en reflectieseismiek bracht artsen op een idee: misschien konden ze geluid gaan gebruiken om het inwendige van het lichaam in beeld te brengen. Tenslotte bestaan er in het lichaam ook allerlei grensvlakken, bijvoorbeeld tussen zacht weefsel en hard bot.

Algauw was duidelijk dat je met gewoon geluid niet ver komt. De 'dingen' die een arts wil zien, zijn veel kleiner dan een ijsberg of een gesteentelaag. Die kun je niet zichtbaar maken met gewoon, hoorbaar geluid. Daarvoor is ultrasoon geluid nodig, dat een veel kleinere frequentie heeft. Doordat de geluidsgolven van ultrasoon geluid heel dicht op elkaar zitten, is het geschikt om kleine dingen in beeld te brengen.

De eerste experimenten met ultrasoon geluid werden tussen 1940 en 1950 uitgevoerd. De onderzoekers probeerden daarbij om de ligging van hersentumoren te bepalen. Een groot succes was het niet. Er ontstond een beeld van de hersenen, maar dat bleef erg vaag. Wel was duidelijk dat de onderzoekers op de goede weg zaten. In de jaren daarna werd de techniek geperfectioneerd tot er goede, scherpe beelden mee gemaakt konden worden.

Een echo maken

Voor het maken van een echo wordt een sonde gebruikt waarin een serie piëzo-elektrische kristallen zit. Elektronica zorgt ervoor dat de kristallen een korte puls ultrasoon geluid uitzenden. Het geluid beweegt door het lichaam,



waarbij er reflecties ontstaan op de grensvlakken tussen de verschillende weefsels. De kristallen vangen de echo's weer op en zetten die om in een elektrisch signaal.

Een computer gebruikt de signalen van de kristallen om een beeld op te bouwen van het lichaam. Om dat beeld te maken, wordt uitgegaan van een gemiddelde geluidssnelheid van 1540 m/s in het lichaam. De geluidssnelheid is niet in alle weefsels precies even groot, maar de gemiddelde snelheid geeft desondanks toch een bruikbaar resultaat. Een belangrijk voordeel van de echoscopie is dat je er zachte weefsels mee kunt onderzoeken die op een röntgenfoto niet te zien zijn.

Voordat het onderzoek gedaan wordt, smeert de echoscopist een speciale gel op de huid. De gel is nodig om goed contact te maken tussen de sonde en het lichaam. Als er lucht tussen de sonde en de huid zit, ontstaat er een enorm sterke reflectie op het grensvlak van lucht en huid, twee totaal verschillende 'materialen'. De geluidsgolven worden dan al teruggekaatst voordat ze het lichaam kunnen bereiken, en dat levert uiteraard geen goed beeld op.

Echo's in 3D

Door een aantal dwarsdoorsneden naast elkaar te zetten, kan een computer een beeld in drie dimensies opbouwen. Normaal gesproken wordt het resultaat op een gewoon beeldscherm bekeken of op gewoon papier afgedrukt. Het beeld geeft dan wel een driedimensionale situatie weer, maar heeft zelf maar twee dimensies. Zo'n beeld kan niet de illusie oproepen van 'echte' diepte. Voorlopig kunnen alleen de artsen in het Erasmus Medisch Centrum een echobeeld in drie dimensies in de ruimte zien zweven.



Opgaven

1 Om de plaats van de reflectie te berekenen, gebruikt de computer een gemiddelde geluidssnelheid van 1540 m/s. Mensen met obesitas (zwaarlijvigheid) hebben erg dikke vetlagen. In vet is de gemiddelde geluidssnelheid lager, namelijk tussen de 1462 en 1473 m/s.
Leg uit of een vetlaag in de echo te dik, te dun of precies goed wordt afgebeeld.

2 De eerste echoscopie-apparaten waren erg groot, veel groter dan de sondes die nu gebruikt worden. De echo's werden gemaakt terwijl de patiënt in een bad zat.
Bedenk wat de reden geweest kan zijn om de echo onder water te maken.

***3** Op een echo kun je geen details zien die kleiner zijn dan de golflengte van het gebruikte geluid. De golflengte is de afstand tussen de maxima van de geluidsgolven (de gebieden waarin de druk hoger is dan gemiddeld).
- **a** Geluid van 1540 Hz heeft in het menselijk lichaam een golflengte van circa 1 m. Laat zien dat dit zo is met behulp van de gegevens in dit artikel.
- **b** Voor echo's wordt geluid gebruikt met een frequentie van 1 tot 10 MHz. Beredeneer hoe groot de golflengte van dit geluid is.





8 Licht

Een wereld vol licht

Licht is niet alleen nodig om dingen te kunnen zien, maar zorgt ook voor kleur en sfeer. Lichtontwerpers en architecten gebruiken licht om precies het effect te bereiken dat ze willen: of het nu om een spectaculaire lichtshow gaat of om een aantrekkelijk uitgelicht stadscentrum.

1 Licht en kleur



▲ figuur 1
De zon breekt door de mist heen.

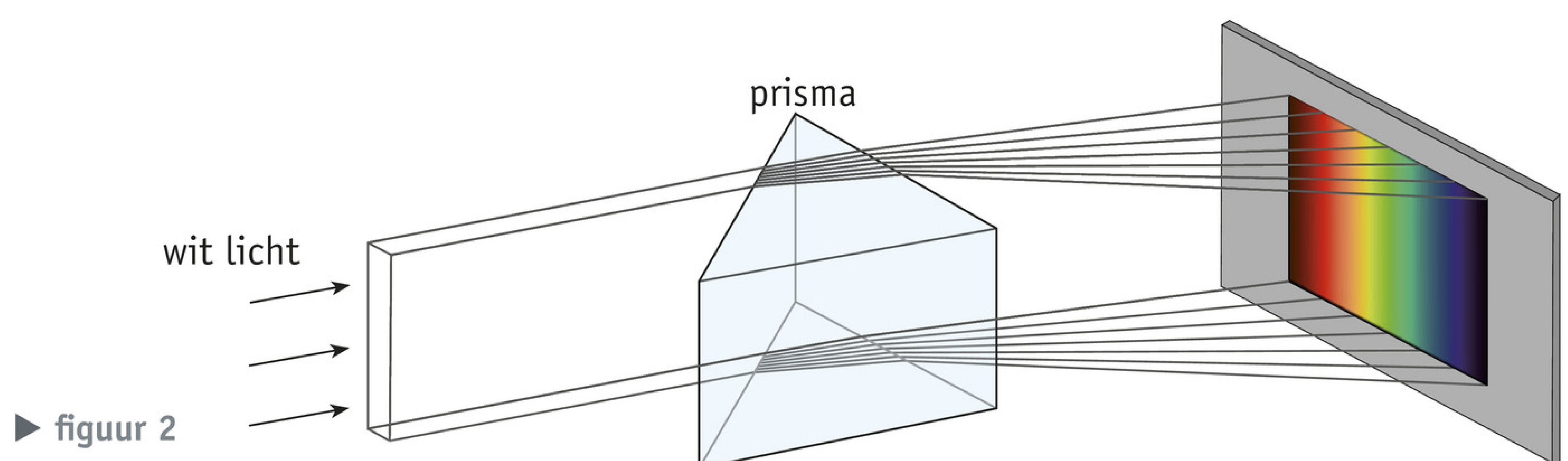
Als het mistig is, kun je de zon soms als een helder witte schijf door de mist heen tevoorschijn zien komen. Je kunt de zon dan goed bekijken, omdat het zonlicht je niet verblindt zoals anders. Dat lukt niet meer als de mist optrekt en je de wereld om je heen weer gewoon kunt zien, in het volle licht van de zon.

Het licht van de zon

De zon is een vrij kleine ster: een van de minstens tweehonderd miljard sterren in de Melkweg. Doordat de zon veel dichter bij de aarde staat dan de andere sterren, is hij de belangrijkste **natuurlijke lichtbron:** zonder zonlicht zou het leven op aarde ondenkbaar zijn.

Het witte licht van de zon bestaat uit alle kleuren van de regenboog. Dat kun je aantonen door zonlicht onder de juiste hoek op een driehoekig stuk glas, een prisma, te laten vallen (figuur 2). Op een scherm achter het **prisma** is dan een reeks kleuren te zien: rood, oranje, geel, groen, blauw en violet. Zo'n reeks kleuren wordt een **spectrum** genoemd.

Met een tweede prisma kun je de verschillende kleuren licht in het spectrum weer met elkaar mengen. Je krijgt dan weer het oorspronkelijke witte zonlicht terug. Met dit soort proeven kun je laten zien dat zonlicht een mengsel is van verschillende **spectraalkleuren** (de zuivere kleuren in het spectrum).



▶ figuur 2
een spectrum maken met een prisma

Je omgeving zien

De meeste dingen om je heen geven zelf geen licht. Je kunt ze alleen zien wanneer ze verlicht worden. Het licht dat op het voorwerp valt, wordt dan **diffuus** (in alle richtingen) **teruggekaatst**. Je ziet het voorwerp wanneer een deel van dit teruggekaatste licht in je ogen terechtkomt.

Overdag worden de dingen om je heen door de zon verlicht. Je ziet de wereld dan 'in kleur' (figuur 3). De verschillende kleuren ontstaan doordat veel voorwerpen het zonlicht maar gedeeltelijk weerkaatsen. Zo weerkaatst een rood voorwerp vooral de spectraalkleur rood en een blauw voorwerp vooral de spectraalkleur blauw. Het overige licht wordt door het voorwerp geabsorbeerd en omgezet in warmte.



▶ **figuur 3**
Kleuren ontstaan doordat licht verschillend wordt weerkaatst.

Witte voorwerpen kaatsen bijna al het zonlicht terug. Alle spectraalkleuren worden daarbij even sterk weerkaatst. Het teruggekaatste licht heeft daardoor dezelfde samenstelling als het oorspronkelijke zonlicht. Zwarte voorwerpen kaatsen juist heel weinig licht terug. Bijna al het zonlicht wordt geabsorbeerd, van welke kleur het ook is.

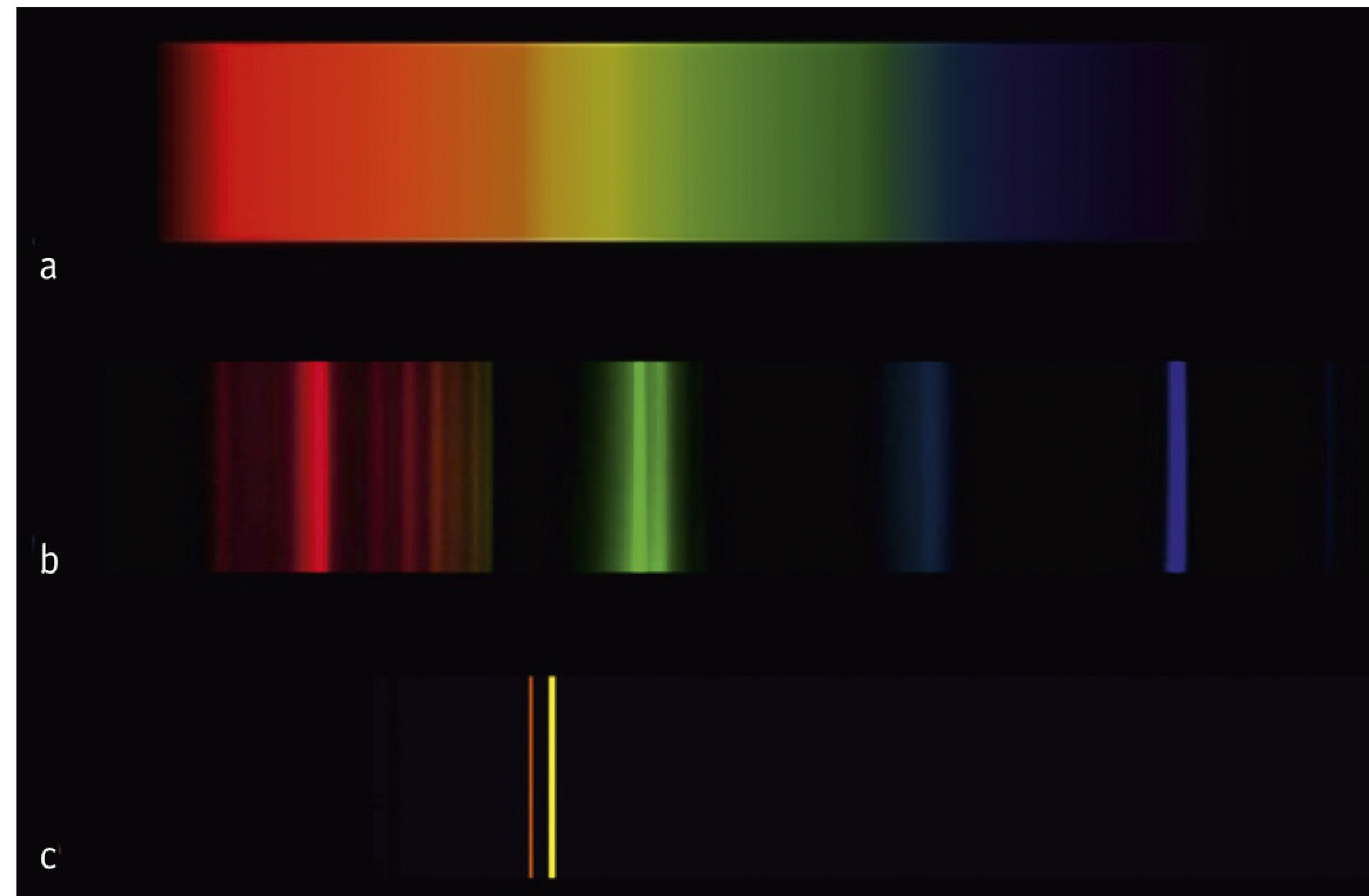
Het spectrum van lamplicht Proef 1

Kaarsen, spaarlampen en tl-buizen zijn **kunstmatige lichtbronnen**: ze zijn door de mens gemaakt. Met een **zakspectroscoop** kun je onderzoeken wat voor licht ze uitzenden. Als je door zo'n spectroscoop naar een lamp kijkt, zie je een spectrum van het lamplicht (figuur 4). Zo kun je vaststellen uit welke spectraalkleuren het licht bestaat.



◀ **figuur 4**
Zo gebruik je een zakspectroscoop.

Een halogeenlamp en een tl-buis geven allebei wit licht. Maar als je de spectra van deze lampen vergelijkt, zie je duidelijke verschillen. Het spectrum van een halogeenlamp is heel gelijkmatig, net als dat van zonlicht (figuur 5a). In het spectrum van een tl-buis overheersen bepaalde spectraalkleuren (de heldere lijnen), terwijl andere spectraalkleuren heel zwak zijn (figuur 5b). Kleuren zien er in dit licht anders uit dan in zonlicht.



▶ **figuur 5**
het spectrum van een halogeenlamp, een tl-buis en een natriumlamp

Bij het kiezen van lichtbronnen kijken mensen niet alleen naar de hoeveelheid licht; het is ook belangrijk welke kleur het licht heeft. Licht dat veel rood, oranje en geel bevat, maakt een warme indruk. Licht waar veel groen en blauw in zit, komt neutraal of zelfs koel over. Warm licht wordt veel toegepast in ruimtes waar het gezellig moet zijn. Voor een werkruimte wordt meestal gekozen voor helder wit, neutraal licht.



▲ **figuur 6**
Dit straatje wordt verlicht door SOX-natriumlampen.

Natriumlampen Proef 2

Er bestaan lichtbronnen die maar één kleur licht geven. Een **natriumlamp** (van het type 'SOX', ook wel een lagedruknatriumlamp genoemd) geeft bijvoorbeeld licht met een zuiver gele kleur. Het spectrum bestaat slechts uit twee smalle lijntjes in het gele gebied (figuur 5c). Soms zie je ook nog een oranje lijntje, dat afkomstig is van het gas neon.

In het licht van een natriumlamp ziet de wereld er heel anders uit dan je gewend bent (figuur 6). Een paarse trui lijkt bijvoorbeeld donkergrijs of zwart. Dat komt doordat de trui het gele licht van de natriumlamp bijna volledig absorbeert. Een witte trui en een gele trui lijken onder een natriumlamp allebei geel. Het gele licht van de natriumlamp wordt door de twee truien even sterk teruggekaatst.

Plus Schermkleuren

Een beeldscherm is opgebouwd uit een lichtgevende streepjes, puntjes of vierkantjes die subpixels worden genoemd. Wat hun vorm ook is, de **subpixels** hebben altijd dezelfde drie kleuren: rood, groen en blauw. Dat kun je zien als je een beeldscherm bekijkt met een sterk vergrootglas (figuur 7). Van een normale afstand bekeken smelten de afzonderlijke subpixels samen tot één beeld, met allerlei kleuren.

Elke subpixel kan apart in- en uitgeschakeld worden. In een rood stukje beeld lichten alleen de rode subpixels op, in een groen stukje beeld alleen de groene subpixels, enzovoort. Andere kleuren worden gemaakt door rood, groen en blauw licht met elkaar te mengen. Geel wordt bijvoorbeeld gemaakt door de rode en groene subpixels tegelijk te laten oplichten. Groen en rood licht geven gemengd dezelfde indruk als zuiver geel licht.

Dat rood en groen licht samen geel opleveren, heeft te maken met de manier waarop je ogen werken. In het netvlies komen drie soorten kegeltjes (lichtgevoelige cellen) voor, elk met zijn kleurgevoeligheid. Soort A reageert op rood, oranje en geel licht, soort B op geel, groen en blauwgroen licht en soort C op blauwgroen, blauw en violet licht. Een mengsel van rood en groen licht laat de kegeltjes A en B reageren – net zoals geel licht dat doet – en wordt daarom als geel waargenomen.



▼ **figuur 7**
Alle kleuren op een tv-scherm worden gemaakt met drie kleuren licht.

opgaven

Leerstof

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Uit welke zes (spectraal)kleuren bestaat het spectrum van zonlicht?
- **b** Wat doet een rood voorwerp met zonlicht dat op het voorwerp valt?
- **c** Wat doet een zwart voorwerp met zonlicht dat op het voorwerp valt?
- **d** Met welk instrument kun je nagaan wat voor licht een lamp uitzendt?
- **e** Hoe ziet een wit voorwerp eruit onder het licht van een natriumlamp?

2 Neem over en vul in.
- **a** Voorwerpen die zelf geen licht geven, kun je alleen zien als ze … worden.
- **b** Het licht dat op zo'n voorwerp valt, wordt … (alle kanten op) weerkaatst.
- **c** Je ziet het voorwerp als een deel van het teruggekaatste licht in je … valt.

3 Niet alle lichtbronnen geven hetzelfde licht.
a Welke natuurlijke lichtbron geeft helder wit licht?
b Welke kunstmatige lichtbron geeft zuiver geel licht?

Toepassing

4 In tabel 1 staan vier verschillend gekleurde kledingstukken.
Neem tabel 1 over in je schrift en noteer:
a een + als het kledingstuk het licht grotendeels terugkaatst.
b een – als het kledingstuk het licht grotendeels absorbeert.

▼ **tabel 1** teruggekaatst of geabsorbeerd

kledingstuk	zuiver rood licht	zuiver groen licht
wit T-shirt		
groen T-shirt		
rood T-shirt		
zwart T-shirt		

5 Vergelijk de twee foto's in figuur 8.
a Welke foto is genomen bij helder wit daglicht?
b Bij wat voor licht is de andere foto genomen?
c In welke foto zijn de kleuren zoals ze echt zijn?
d Wat is de echte kleur van het koffiekopje?
e Welke kleur heeft het koffiekopje in de andere foto?
f Waardoor wordt die afwijkende kleur veroorzaakt?




▲ **figuur 8**
twee foto's van Marinda

6 Josette is aan het winkelen in een winkel waar tl-verlichting brandt. Ze heeft een trui gevonden die ze erg mooi vindt. Maar voordat ze hem koopt, loopt ze eerst naar de deur om de trui bij daglicht te bekijken. Wat voor nut heeft het om dat te doen? Leg uit.



▲ **figuur 9**
gedeelte van de verpakking van een led-lamp

7 Op de verpakkingen van lampen staat vaak de kleurtemperatuur vermeld. Daaraan kun je zien wat voor kleur het licht van de lamp heeft. Licht met een lage kleurtemperatuur (bijvoorbeeld 3000 K) bevat verhoudingsgewijs veel rood licht. Licht met een hoge kleurtemperatuur (bijvoorbeeld 6500 K) bevat verhoudingsgewijs veel blauw licht.

- **a** Welke kleurtemperatuur staat vermeld op de verpakking in figuur 9?
- **b** Wat voor indruk maakt het licht van deze lamp: warm, neutraal of koel?
- **c** Is het licht van deze lamp geschikt om er kleuren bij te beoordelen?
- **d** Is het licht van deze lamp geschikt om een knusse sfeer te scheppen?

8 Dennis voetbalt bij Sparta in een wit shirt met rode strepen. Als hij onder een (SOX-) natriumlamp doorloopt, verandert hij even in een speler van een andere voetbalclub.
Om welke club gaat het?

- A Heracles Almelo (zwart-wit gestreept)
- B Go Ahead (rood-geel gestreept)
- C Vitesse (zwart-geel gestreept)
- D ADO (geel-groen gestreept)

***9** Vroeger werden parkeerterreinen vaak verlicht door lagedruknatriumlampen. Tegenwoordig wordt dit soort lampen steeds minder gebruikt, omdat de kleurherkenning bij dit soort lampen erg slecht is.
Leg uit hoe het komt:

- **a** dat kleuren bij het licht van deze lampen niet te herkennen zijn.
- **b** dat dit problemen geeft op grote parkeerplaatsens met veel auto's.
- **c** dat mensen zich bij het licht van deze lampen eerder onveilig voelen.

Plus Schermkleuren

10 Het beeldscherm van een telefoon is opgebouwd uit subpixels.

- **a** Welke kleuren hebben die subpixels?
- **b** Welke subpixels lichten op:
  - in een groen stukje van het beeld?
  - in een rood stukje van het beeld?
  - in een geel stukje van het beeld?

11 Soms kun je op de televisie een oude film bekijken in zwart-wit.

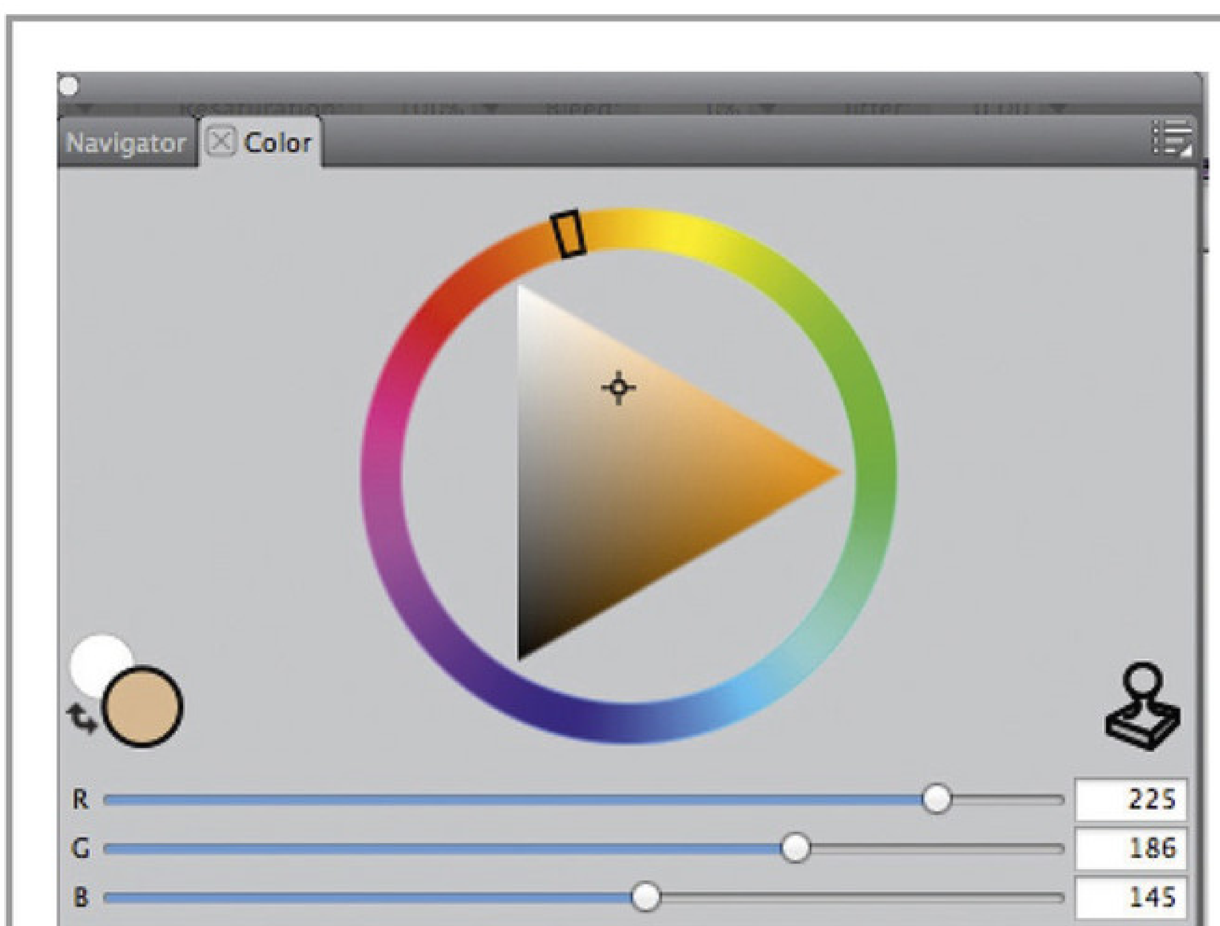
- **a** Hoe maakt het beeldscherm de zwarte delen van het beeld?
- **b** Hoe maakt het beeldscherm de witte delen van het beeld?
- **c** Hoe maakt het beeldscherm de grijze delen van het beeld?

***12** Lees de tekst in figuur 10 over de RGB-code.

a Neem de RGB-codes hieronder over in je schrift.
Zet achter elke RGB-code welke kleur erbij hoort.
- (255, 0, 0)
- (0, 255, 0)
- (255, 255, 0)
- (255, 255, 255)
- (128, 128, 128)
- (128, 128, 255)

Gebruik de optie 'kleuren bewerken' in een programma zoals Paint om je antwoorden te controleren.

b De RGB-code is speciaal ontworpen om er beeldschermkleuren mee te beschrijven. Waaruit blijkt dat?



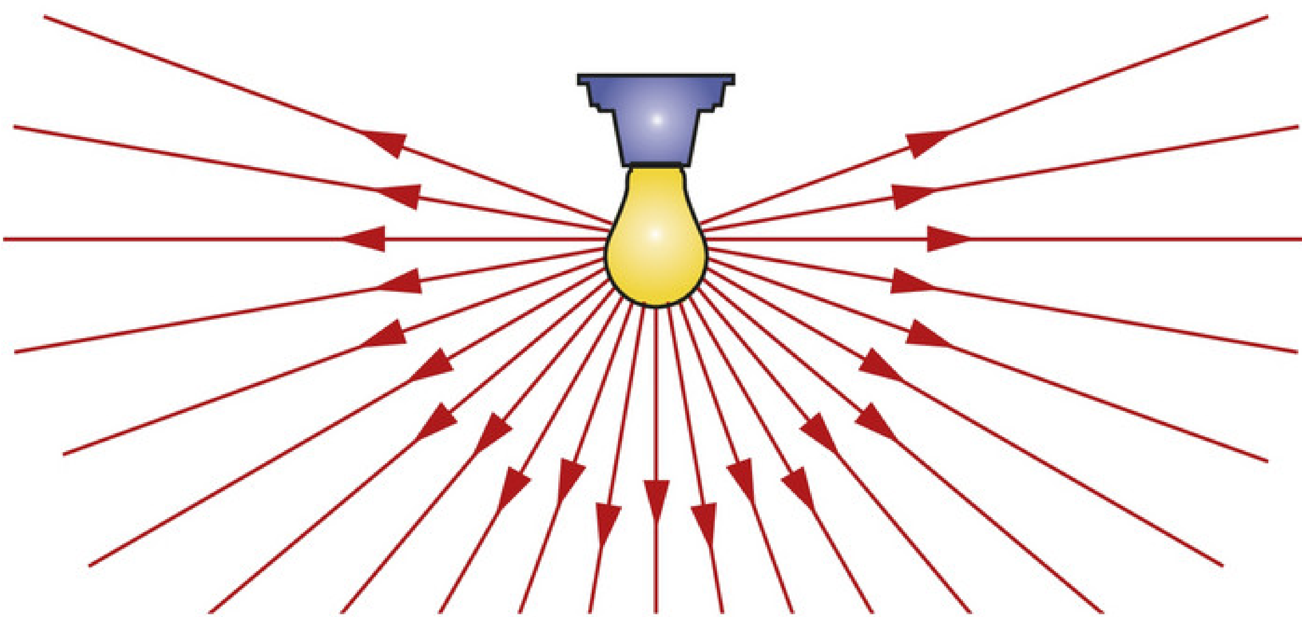
De RGB-code
In computerprogramma's zoals Paint en Photoshop heeft elke kleur een code. Deze code wordt de RGB-code genoemd, van rood (R), groen (G) en blauw (B). Elke RGB-code bestaat uit drie getallen, van 0 tot 255. Deze getallen geven aan hoeveel rood, groen en blauw er in de kleur zit. Hoe groter het getal, des te meer rood, groen of blauw er is gebruikt.

Fel rood is in RGB-code (255, 0, 0): veel rood (255), geen groen (0) en geen blauw (0). Helder violet is (255, 0, 255): veel rood (255), geen groen (0) en veel blauw (255). Zwart is (0, 0, 0): geen rood, geen groen en geen blauw.

▶ **figuur 10**
uitleg over de RGB-code

2 Direct, indirect en diffuus

Op een hete zomerdag komt het licht op het strand van alle kanten: rechtstreeks van de zon, weerkaatst door het zand en de zee, verstrooid door de lucht boven je hoofd. Zelfs in de schaduw heb je nog een zonnebril nodig om niet met toegeknepen ogen te hoeven rondkijken.



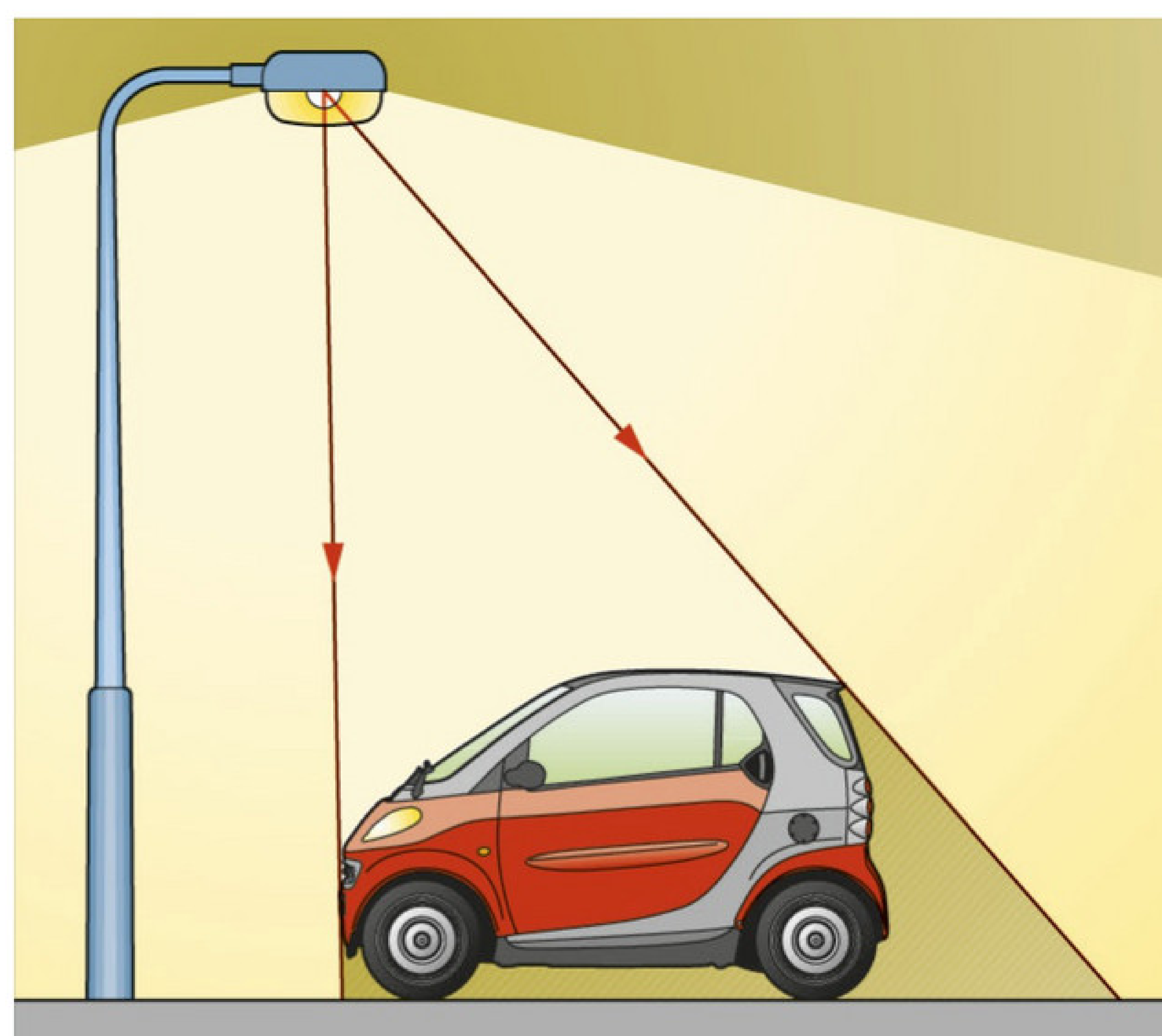
▲ **figuur 11**
De lichtstralen geven aan hoe het licht beweegt.

Licht en schaduw

Het licht dat door een lichtbron wordt uitgestraald, beweegt alle kanten op. Dat kun je aangeven door **lichtstralen** te tekenen. Die lichtstralen zijn recht, want licht beweegt langs rechte lijnen (figuur 11). Hoe groter de afstand tot de lichtbron, des te zwakker is het licht. Dat zie je aan de lichtstralen die steeds verder uit elkaar bewegen.

Als een voorwerp het licht van de lichtbron tegenhoudt, ontstaat er een **schaduw**. Er is dan een gebied waar het licht niet rechtstreeks kan komen. Omdat licht langs rechte lijnen beweegt, kun je de grootte van het schaduwgebied eenvoudig bepalen (figuur 12):

1 Teken de twee lichtstralen die net niet door het voorwerp worden tegengehouden (de ‘randstralen’).
2 Arceer het gebied achter het voorwerp dat tussen de twee randstralen in ligt. Dit is het gebied waar het licht niet rechtstreeks kan komen.

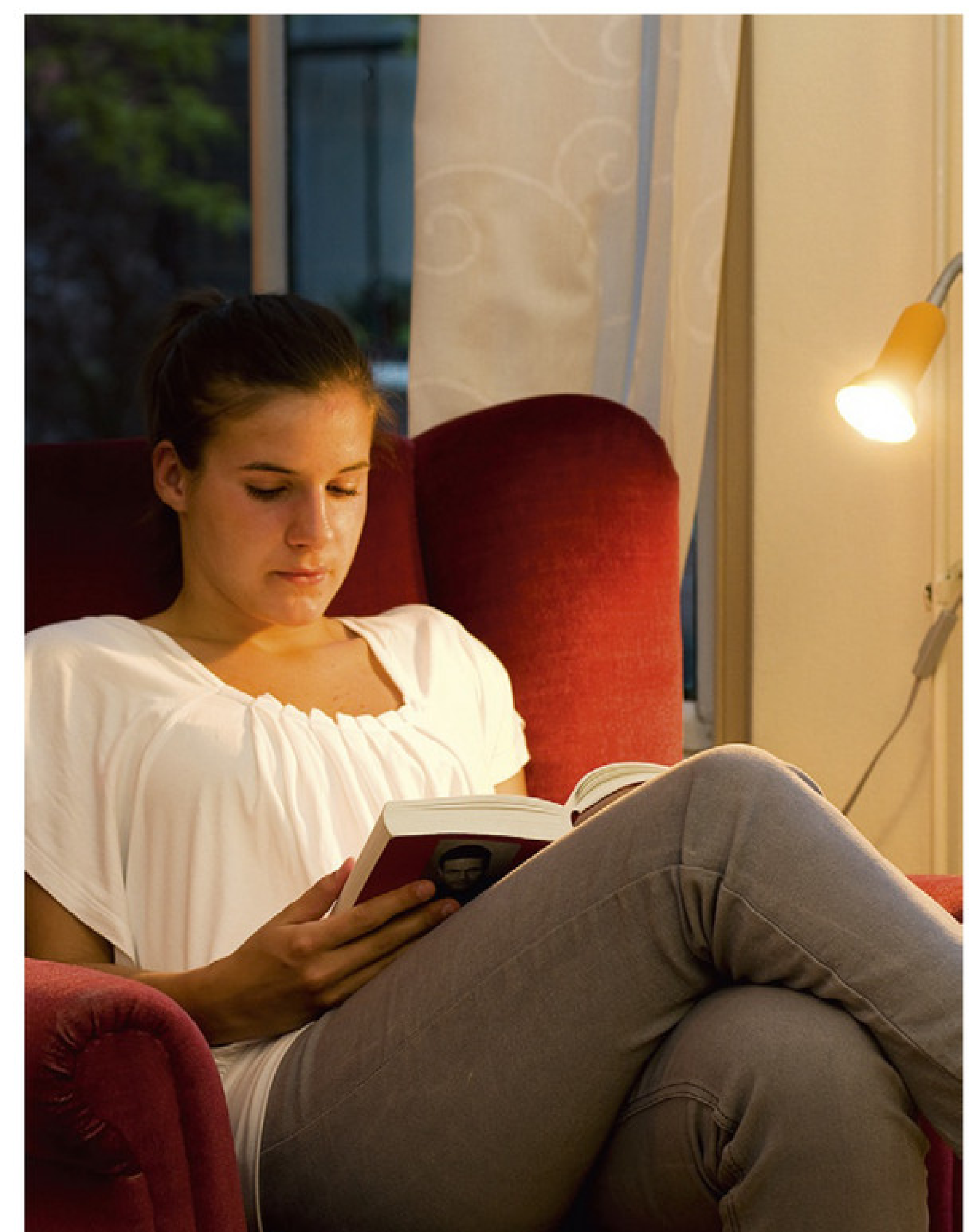


▲ **figuur 12**
Zo teken je de schaduw van een voorwerp.

Direct licht Proef 3

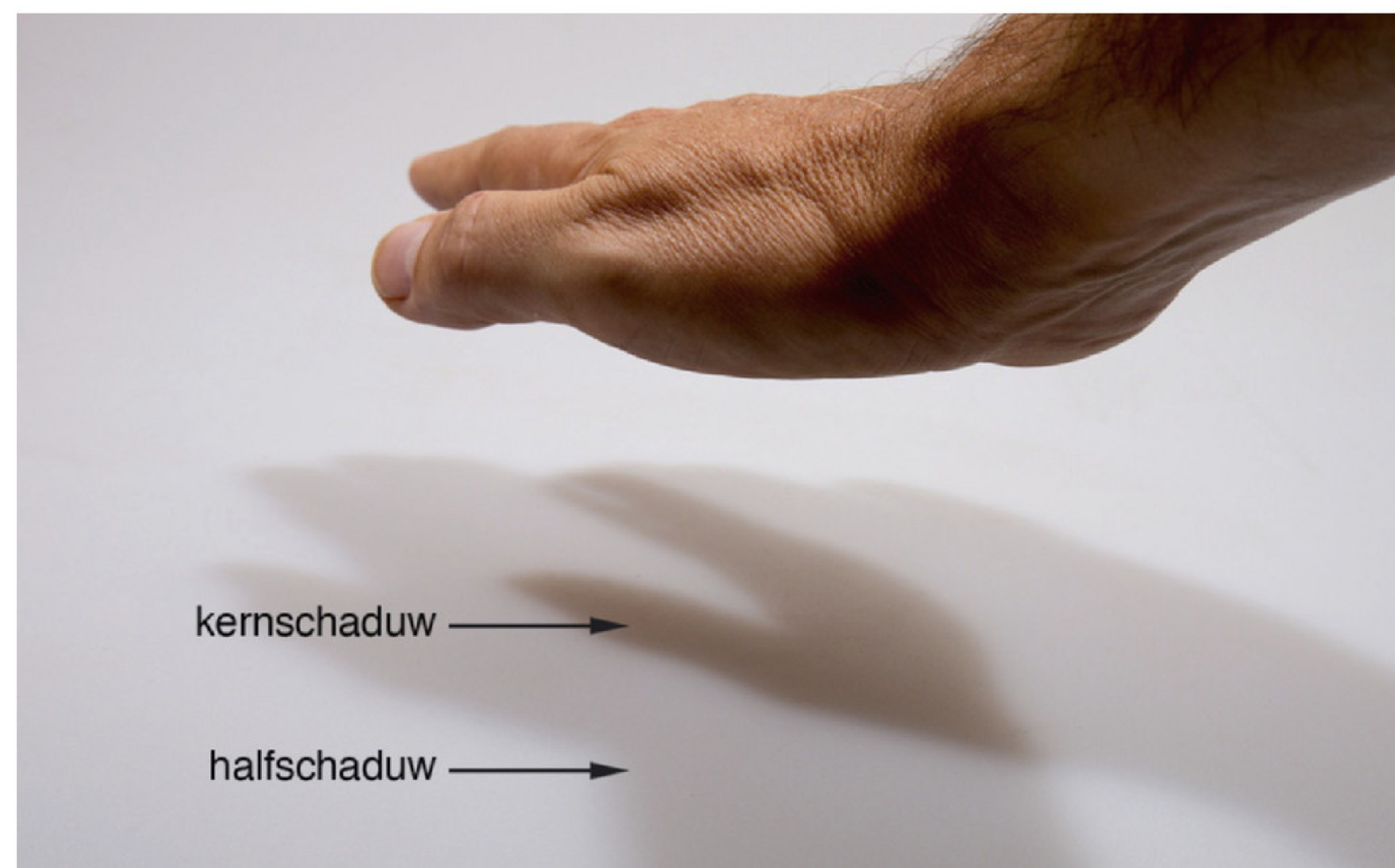
De meeste karweitjes doe je binnen, aan een tafel, bureau of werkblad. Het werkvlak moet goed verlicht zijn. Daarvoor worden bij voorkeur lampen gebruikt die **direct licht** geven. Dat wil zeggen dat het licht rechtstreeks van de lichtbron naar het werkvlak beweegt, zoals bij de leeslamp in figuur 13.

▶ **figuur 13**
een lamp die direct licht geeft



Een leeslamp is geen geschikte verlichting voor een werkblad met gereedschap en allerlei werkmateriaal. Er ontstaan dan overal donkere schaduwen met een scherpe grens tussen licht en donker. Daardoor kun je niet goed zien waar je mee bezig bent. De schaduwen leiden ook af van wat je eigenlijk moet zien.

Het helpt als je twee lampen naast elkaar ophangt. Je krijgt dan dubbele schaduwen: een voor elke lamp. Op de plaats waar die schaduwen over elkaar heen vallen, is het werkblad het donkerst. Dit noem je de **kernschaduw**. Links en rechts van de kernschaduw zie je een lichtere **halfschaduw**. Hier kan het licht van de ene lamp wel komen, maar van de andere lamp niet (figuur 14).



▶ **figuur 14**
kernschaduw en halfschaduw

Met een tl-buis krijg je mooie vloeiende overgangen tussen licht en donker. De hoeveelheid direct licht die het werkblad bereikt, neemt in de overgangsgebieden geleidelijk af. Je ziet dat de halfschaduw langzamerhand donkerder wordt, totdat hij ongemerkt overgaat in de kernschaduw.

Indirect en diffuus licht

Verlichting wordt veel gebruikt om gezelligheid en sfeer te scheppen. De lampen die voor deze sfeerverlichting gebruikt worden, geven geen direct licht. Dat is te 'hard' en te zakelijk. Sfeerverlichting moet de hele ruimte 'zacht' verlichten, zonder felle lichtplekken en diepe schaduwen. Dit kan door gebruik te maken van indirect licht of van diffuus licht.

In figuur 15 zie je een lamp die **indirect licht** levert. Het licht van de lamp schijnt niet rechtstreeks de kamer in, maar wordt op een witte muur gericht. De muur weerkaatst het opvallende lamplicht in verschillende richtingen. Het lijkt daardoor alsof de muur één groot lichtgevend vlak is: een **indirecte lichtbron**.



▲ **figuur 15**
een lamp die indirect licht geeft

In de lamp in figuur 16 wordt een andere manier gebruikt om 'zacht' licht te produceren. Het licht van de lamp valt op doorschijnend papier dat het licht in allerlei richtingen **verstrooit**. De bol wordt een indirecte lichtbron, net als de muur in figuur 15. Het licht dat je op die manier krijgt, wordt **diffuus licht** genoemd.



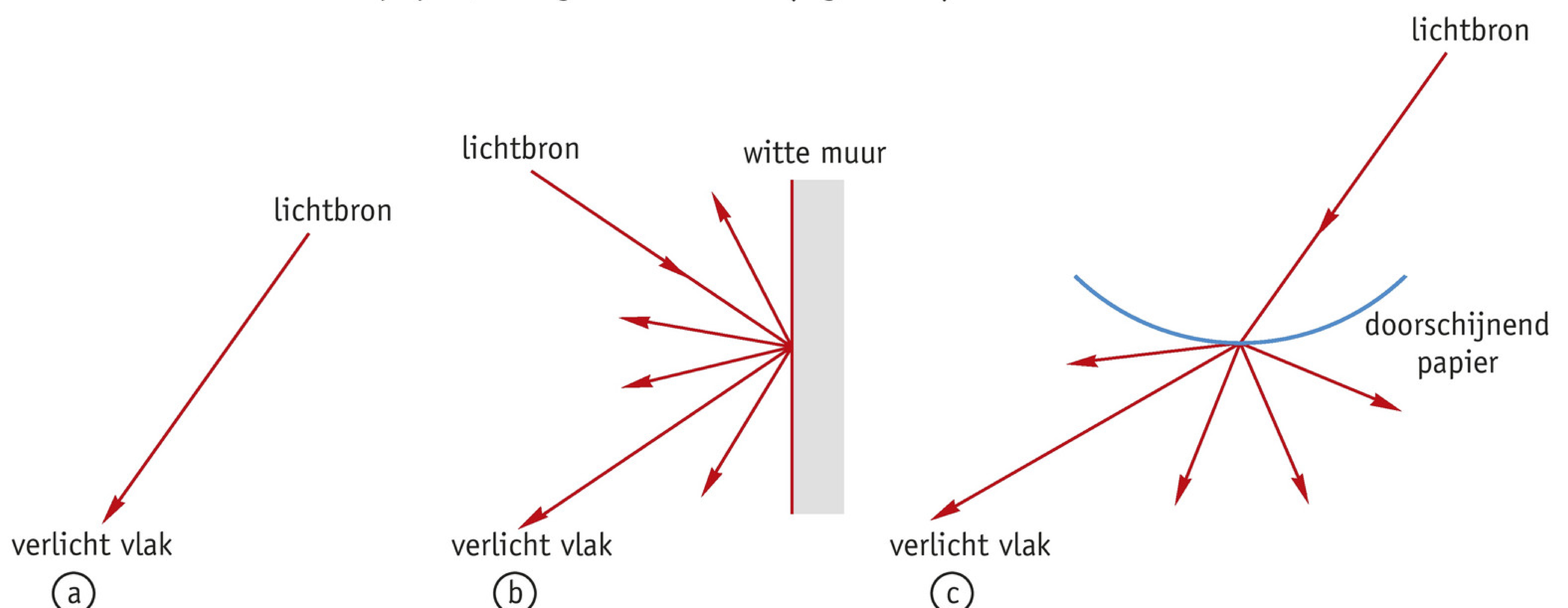
▶ **figuur 16**
een lamp die diffuus licht geeft

Reflectie en verstrooiing

Indirect en diffuus licht worden vaak in combinatie gebruikt met direct licht. Ze verzachten de 'harde' schaduwen die ontstaan, als je alleen direct licht gebruikt. Doordat het licht afkomstig is van een groot oppervlak, kan het op allerlei plekken komen waar geen direct licht is. Het contrast tussen licht en schaduw wordt daardoor minder groot.

Indirect licht en diffuus licht hebben dus hetzelfde effect. Er is wel een verschil in de manier waarop ze ontstaan. Indirect licht ontstaat door reflectie: het licht weerkaatst tegen een ondoorschijnend vlak, zoals een wit plafond. Diffuus licht ontstaat door verstrooiing: het licht verandert van richting als het door een doorschijnend materiaal beweegt, zoals papier, matglas of textiel (figuur 17).

▼ **figuur 17**
direct, indirect licht en diffuus licht

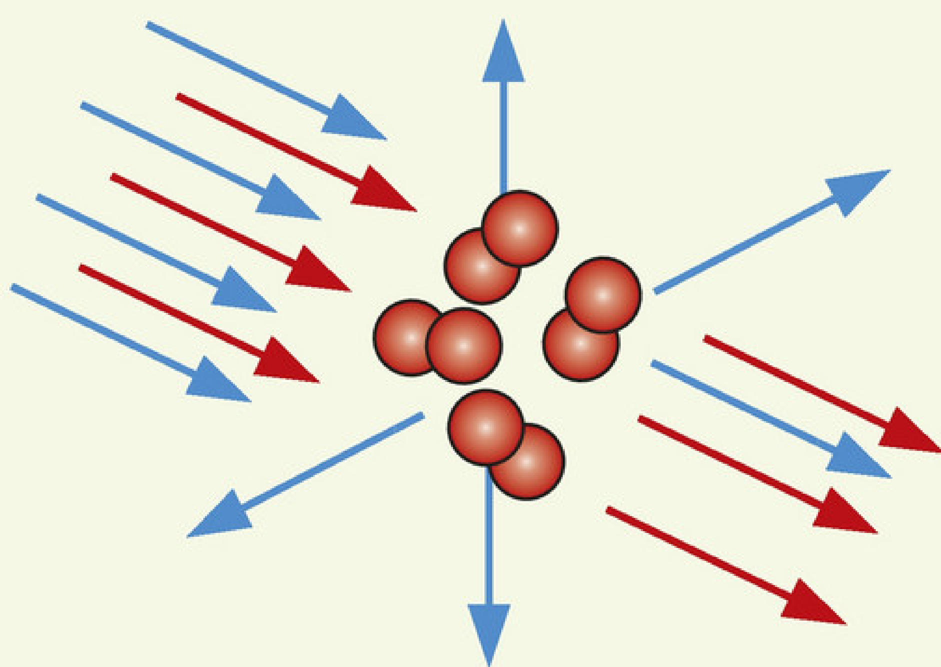


Reflectie en verstrooiing spelen niet alleen een rol in de lichttechniek. Ze bepalen ook hoe je het licht buiten ervaart. Zand en sneeuw reflecteren het zonlicht dat erop valt, zodat je je ogen ervoor dicht moet knijpen. Wolken en mist verstrooien het zonlicht, zodat je een gedempt, diffuus licht krijgt, en er vrijwel geen schaduwen zijn.

Plus Hemelsblauw en avondrood

Als je op een wolkeloze dag omhoogkijkt, zie je dat de hemel overal diepblauw is. Er komt licht in je ogen terecht dat je waarneemt als blauw. In werkelijkheid is dit blauw een mengsel van verschillende spectraalkleuren. Er zit veel violet in (waarvoor je ogen niet zo gevoelig zijn), nogal wat blauw, een beetje groen en bijna geen geel en rood; de mengkleur van al die spectraalkleuren is hemelsblauw.

Die blauwe kleur van de hemel wordt veroorzaakt doordat luchtmoleculen het zonlicht verstrooien (van richting laten veranderen). In een dunne laag lucht merk je dat niet. Dan lijkt lucht perfect doorzichtig. Maar in de atmosfeer, die kilometers dik is, is die verstrooiing goed merkbaar. De spectraalkleuren violet en blauw worden het sterkst verstrooid, de spectraalkleuren rood en oranje het minst. Daardoor is het verstrooide licht hemelsblauw (figuur 18).



▲ **figuur 18**
Zonlicht wordt verstrooid door de moleculen in de atmosfeer.

Bij zonsondergang moet het zonlicht een lange weg door de atmosfeer afleggen, voordat het je ogen bereikt. Bijna al het violette en blauwe licht is dan al verstrooid. Doordat het rode licht veel minder wordt verstrooid (en grotendeels rechtdoor kan gaan), overheerst dat in het licht dat overblijft. Daardoor ziet de ondergaande zon er rood uit.

opgaven Leerstof

13 Neem over en vul in.
- **a** Lichtstralen laten zien hoe het licht bij een … vandaan beweegt.
- **b** Die lichtstralen zijn …, want het licht beweegt langs … lijnen.
- **c** Hoe groter de afstand tot de lichtbron, des te … is het licht.
- **d** Dat zie je aan de lichtstralen die steeds verder … bewegen.

14 Een werkblad wordt verlicht door twee, naast elkaar opgehangen lampen.
- **a** Hoe komt het dat elk voorwerp op het werkblad twee schaduwen heeft?
- **b** Hoe heet het gebied waar de schaduw op het werkblad het donkerst is?
- **c** Hoe komt het dat je daarnaast twee lichtere ‘halfschaduwen’ kunt zien?
- **d** Wat voor schaduwen krijg je als je de lampen vervangt door een tl-buis?

15 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Waarom zijn lampen die direct licht geven, niet geschikt om gezelligheid en sfeer te scheppen?
- **b** Welke twee soorten licht leveren de lampen die gebruikt worden in sfeerverlichting?
- **c** Hoe komt het dat mensen het licht van deze lampen als 'zacht' ervaren? Wat geeft dat woord 'zacht' aan?

Toepassing

16 Bij deze opgave heb je werkblad 8-1 nodig.
Op het werkblad zie je een lamp die boven een kruk hangt.
Teken de twee randstralen. Arceer het schaduwgebied dat daartussen ligt.

17 Bij deze opgave heb je werkblad 8-2 nodig.
Op het werkblad zie je Peter onder een straatlantaarn staan.
- **a** Teken de lamp van de straatlantaarn op de juiste plaats.
- **b** Peter is 1,80 m lang.
  Hoe hoog hangt de lamp van de straatlantaarn boven de grond?
  Schrijf stap voor stap op hoe je aan je antwoord bent gekomen.

18 Bij deze opgave heb je werkblad 8-3 nodig.
Op het werkblad zie je een tl-buis die boven een kruk hangt.
- **a** Teken de twee randstralen vanuit het linker uiteinde van de tl-buis.
- **b** Teken de twee randstralen vanuit het rechter uiteinde van de tl-buis.
- **c** Geef met blauw aan waar je de kernschaduw van de kruk kunt zien.
- **d** Geef met rood aan waar je de halfschaduwen van de kruk kunt zien.
- **e** Een muis loopt over de kamervloer van de linker muur naar de rechter muur, onder de kruk door. Beschrijf hoe de muis het licht op de vloer ziet veranderen.

19 In figuur 19 zie je een vloerlamp met leeslamp.
- **a** Wat voor soort licht geeft lamp 1?
- **b** Waarvoor gebruik je dat licht?
- **c** Wat voor soort licht geeft lamp 2?
- **d** Waarvoor gebruik je dat licht?

***20** Leg uit hoe het komt:
- **a** dat je de lichtbundels van een lasershow, als het een beetje mistig is, veel beter kunt zien dan bij droog weer.
- **b** dat schaduwen bij zonnig weer hard en scherp zijn, terwijl je bij een bewolkte lucht bijna geen schaduwen ziet.
- **c** dat wintersporters eerder last hebben van verblindend zonlicht dan toeristen die 's zomers in de bergen rondtrekken.



◀ **figuur 19**
vloerlamp met leeslamp





▲ **figuur 20**
twee portretfoto's

21 In figuur 20 zie je twee portretfoto's. De fotograaf heeft bij beide foto's gebruikgemaakt van flitslicht.
- **a** In welke portretfoto is erg 'hard' licht gebruikt?
- **b** Waaraan zie je dat het licht in deze foto 'hard' is?
- **c** Waaraan zie je dat het licht in de andere foto 'zacht' is?
- **d** Leg uit waarom fotografen er vaak voor kiezen om 'via het plafond te flitsen' in plaats van rechtstreeks.

***22** Een witte paraplu hoort bij de basisuitrusting van een professionele fotograaf (figuur 21).
- **a** Op welke twee manieren kan een fotograaf zo'n paraplu gebruiken volgens de tekst?
- **b** Welke van die twee manieren is afgebeeld op de foto in figuur 21? Waaraan zie je dat?
- **c** Teken hoe de paraplu, de flitslamp en het model bij de andere manier staan opgesteld.
- **d** Het licht wordt zachter, als de fotograaf de paraplu dichter bij het model zet.
  Leg uit waarom dat zo is.
- **e** "Een grote paraplu levert zachter licht dan een kleine," beweert een website.
  Leg uit of deze bewering juist is of niet.



De paraplu kan op twee manieren worden gebruikt, namelijk als reflector of als diffuser.
In het geval de paraplu wordt gebruikt als reflector, wordt de flits in de paraplu gestuurd en kaatst via de open kant van de paraplu op het model.
Bij gebruik als diffuser is de paraplu met de dichte kant naar het model gericht. Ook hier wordt in de paraplu geflitst, echter nu gaat het licht door de paraplu heen en verlicht het onderwerp.
Hoe groter de paraplu, des te groter is de lichtbron die het model belicht.
Bron: www.123cursus-fotografie.nl

▶ **figuur 21**
een gedeelte van een cursus fotografie

Plus Hemelsblauw en avondrood

23 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welke spectraalkleuren vormen samen het hemelsblauw van een wolkeloze hemel?
- **b** Hoe komt het dat blauw overheerst in het licht dat vanaf een wolkeloze lucht in je ogen valt?
- **c** Hoe komt het dat rood overheerst in het licht dat vanaf de ondergaande zon in je ogen valt?

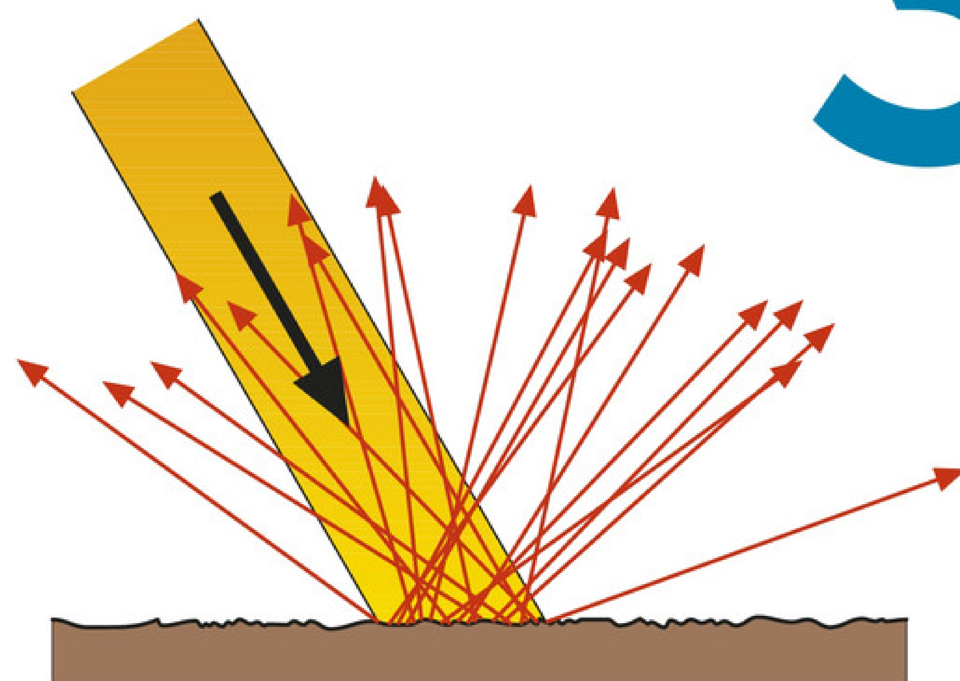
24 Zoek op internet naar foto's die op de maan en op Mars genomen zijn. Geschikte zoekwoorden zijn 'surface Moon' en 'surface Mars'. Waaraan kun je zien:
- **a** dat Mars wel een atmosfeer heeft en de maan niet?
- **b** dat de atmosfeer op Mars veel zwevend stof bevat?

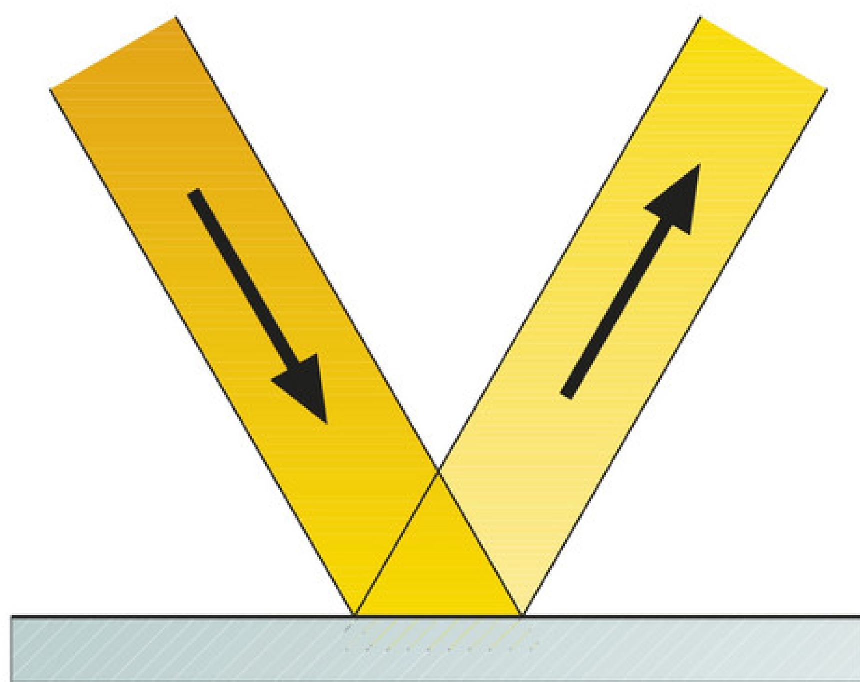
***25** In de verte ziet een berglandschap er anders uit dan dichtbij (figuur 22).
- **a** Beschrijf het verschil in kleur, contrast en helderheid.
- **b** Leg uit welke rol de verstrooiing van licht hierbij speelt.



▶ **figuur 22**
een berglandschap

3 Spiegelbeelden





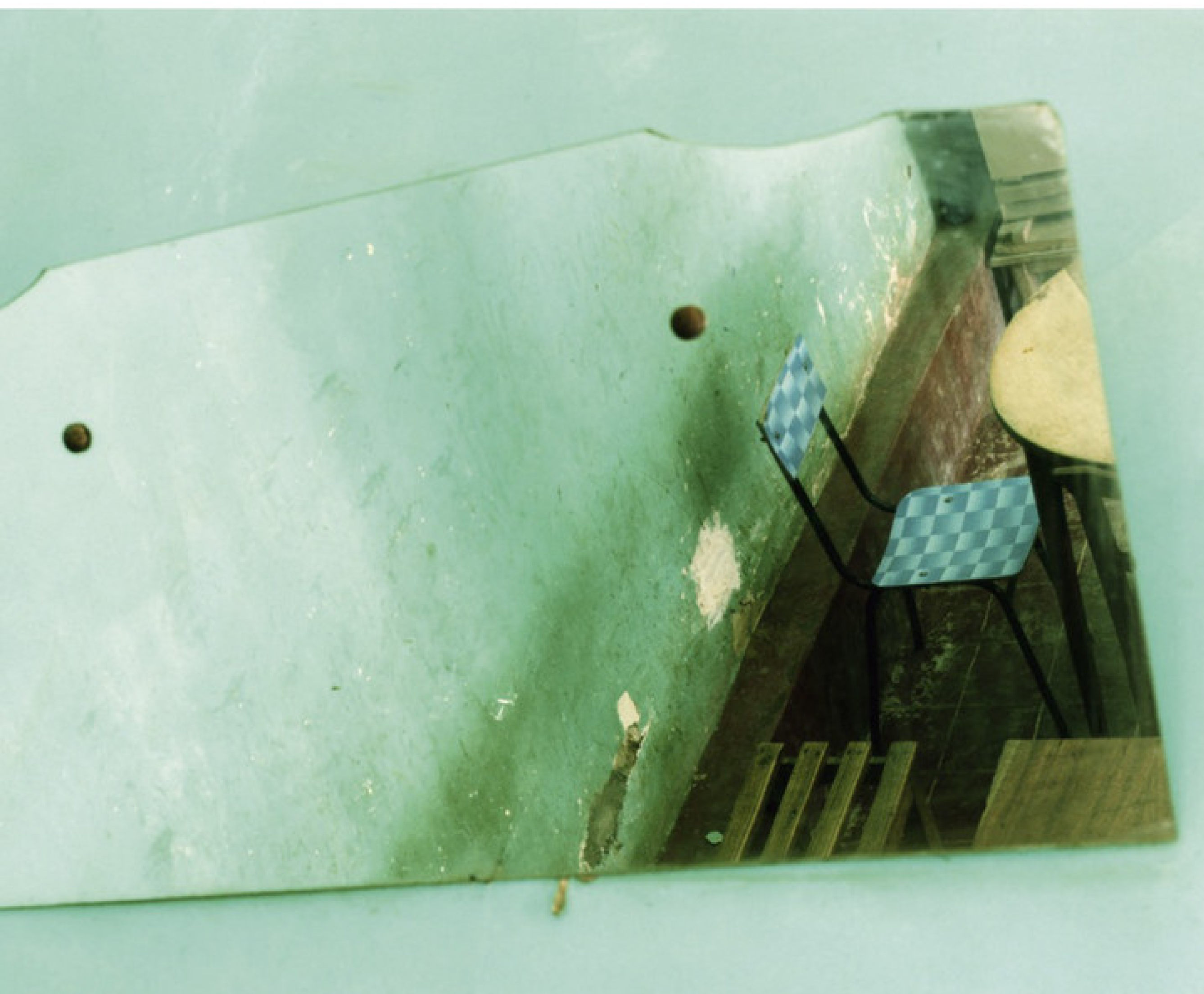
▲ **figuur 23**
diffuse terugkaatsing en spiegelende terugkaatsing

Als zonlicht op een vel wit papier of op een spiegel valt, wordt het voor meer dan 90% teruggekaatst. Bij het vel wit papier is die terugkaatsing diffuus. Het weerkaatste zonlicht beweegt alle kanten op. Bij een spiegel wordt het licht juist heel gericht teruggekaatst. Daardoor kun je je gezicht wel zien in een spiegel, maar niet in een vel wit papier.

Spiegels Proef 4

Een **spiegel** bestaat uit een glasplaat, waartegen een dun laagje aluminium of zilver is aangebracht. Licht passeert het glas, en wordt vervolgens teruggekaatst door het laagje metaal daaronder. Doordat het metaaloppervlak heel glad en vlak is, is de terugkaatsing **spiegelend**: het licht wordt gericht teruggekaatst en niet alle kanten op, zoals bij diffuse terugkaatsing (figuur 23).

Als je in een vlakke spiegel kijkt, zie je je **spiegelbeeld** achter de spiegel (figuur 24). Het spiegelbeeld heeft zelfs diepte: het lijkt echt achter de spiegel te liggen. Kijk maar eens naar je hand, als je een spiegel vasthoudt en dan naar het beeld van je gezicht. Je voelt dat je ogen zich steeds anders moeten instellen. Het spiegelbeeld is verder weg dan je hand.

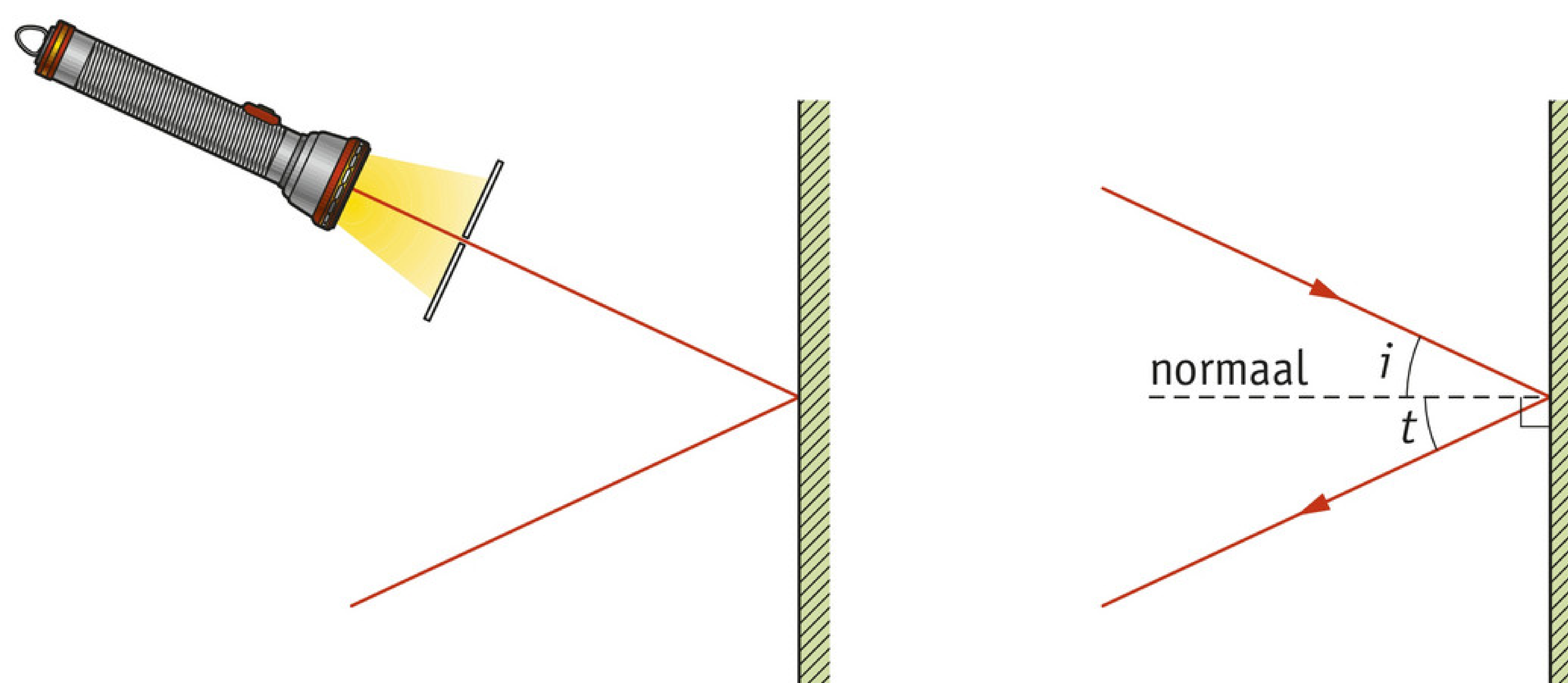


▲ **figuur 24**
Achter een spiegel lijkt een andere, gespiegelde wereld te liggen.

Er is een opvallend verschil tussen de 'spiegelwereld' en de wereld voor de spiegel: voor en achter zijn omgedraaid. Dat merk je als je tekst bekijkt via een spiegel. Je ziet de tekst dan in **spiegelschrift** (net als wanneer je een vel papier tegen het licht houdt en dan de tekst op de achterkant probeert te lezen). Omgekeerd werkt het ook: als een tekst in spiegelschrift via een spiegel bekijkt, zien de letters er weer normaal uit.

De spiegelwet Proef 5

In de tekening van figuur 25 zie je hoe een vlakke spiegel een evenwijdige smalle lichtbundel terugkaatst. Omdat je zo'n lichtbundel kunt tekenen als één lichtstraal, zeg je in plaats van 'evenwijdige smalle lichtbundel' meestal kortweg 'lichtstraal'.



▶ **figuur 25**
Zo kaatst een spiegel een lichtstraal terug.

Op de plaats waar de lichtstraal de spiegel raakt, is een lijn getekend die loodrecht op de spiegel staat: de **normaal** (of loodlijn). De hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal heet de **hoek van inval** (∠ *i*). De hoek tussen de teruggekaatste lichtstraal en de normaal heet de **hoek van terugkaatsing** (∠ *t*).

Bij terugkaatsing door een spiegel geldt altijd:

hoek van inval = hoek van terugkaatsing

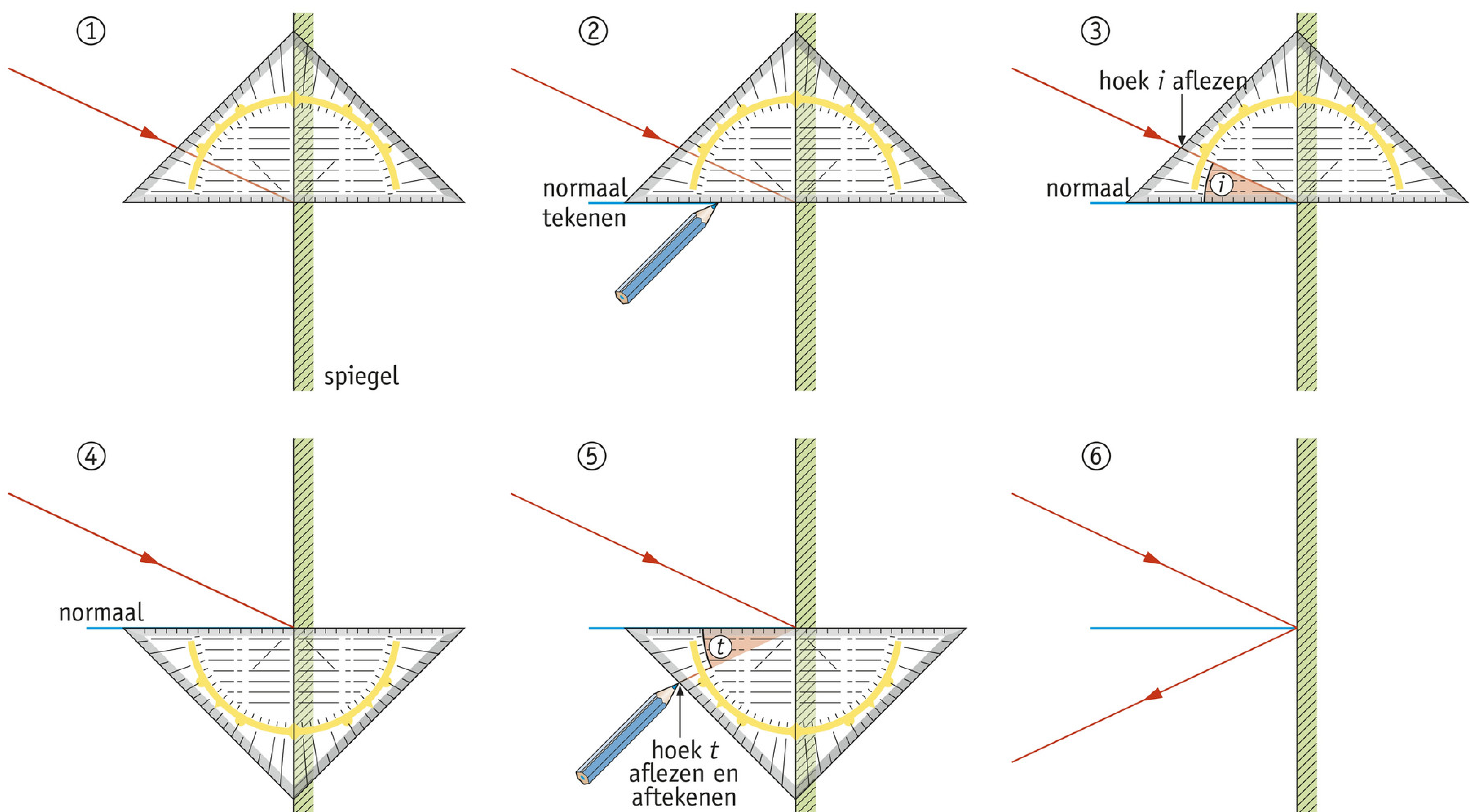
of in symbolen:

$\angle i = \angle t$

Deze regel wordt de **spiegelwet** genoemd.

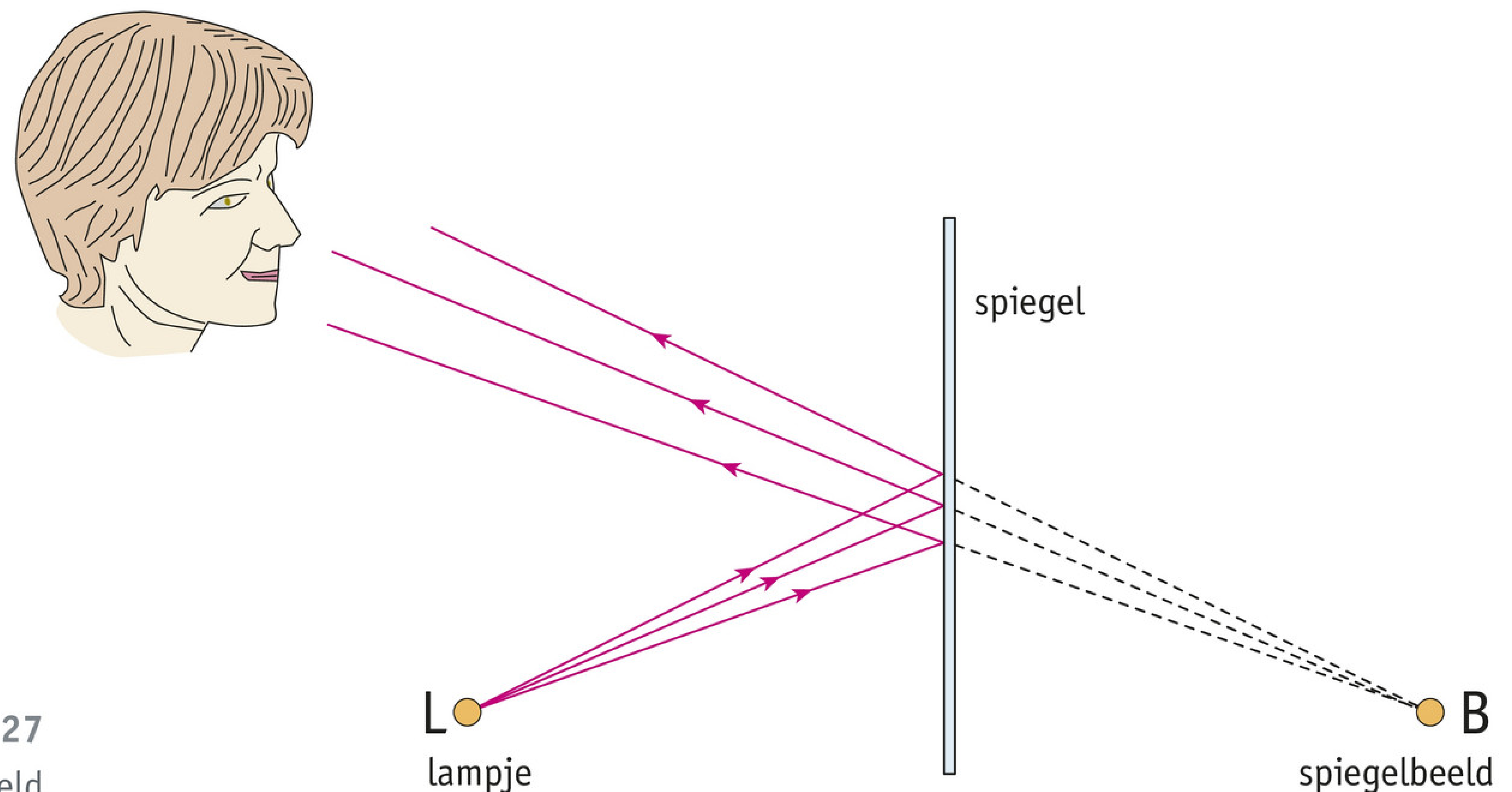
Met de spiegelwet kun je tekenen hoe een lichtstraal door de spiegel teruggekaatst wordt (figuur 26):
1 Leg je geodriehoek zoals in de tekening.
2 Teken de normaal.
3 Lees de hoek van inval af.
4 Leg je geodriehoek nu langs de andere kant van de normaal.
5 Pas de spiegelwet toe en zet de hoek van terugkaatsing uit.
6 Teken de teruggekaatste lichtstraal.

▼ **figuur 26**
Zo teken je de teruggekaatste lichtstraal met de spiegelwet.



Het spiegelbeeld tekenen Proef 6

In figuur 27 is een lampje getekend dat voor een spiegel staat. De teruggekaatste lichtstralen lijken uit een punt te komen dat achter de spiegel ligt. Als je in de spiegel kijkt, zie je daar het spiegelbeeld van het lampje.



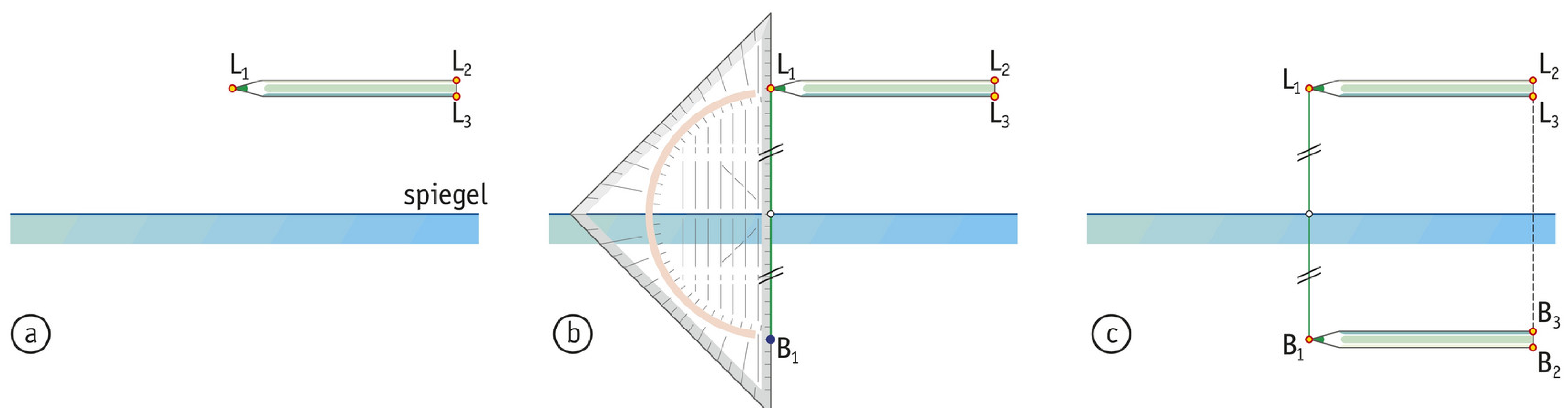
▶ **figuur 27**
kijken naar een spiegelbeeld

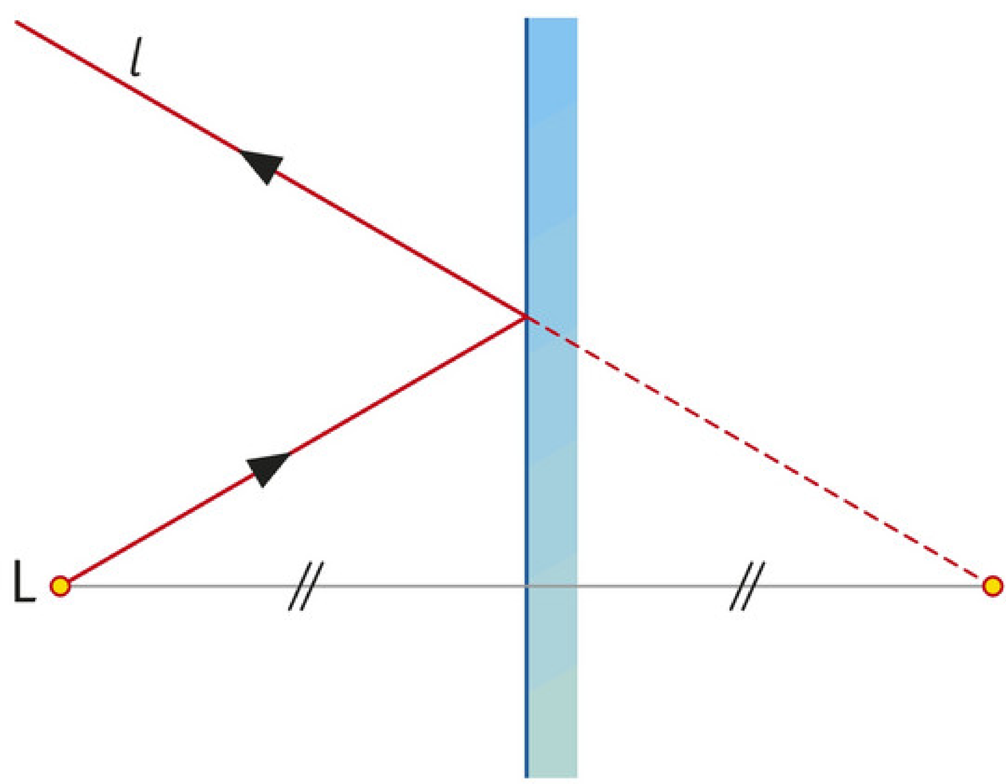
Het spiegelbeeld bevindt zich even ver achter de spiegel als het voorwerp ervoor. Je kunt als volgt de plaats van het spiegelbeeld vinden (figuur 28):

1 Kies een willekeurig punt L van het voorwerp.
2 Leg je geodriehoek neer zoals in de tekening.
3 Teken het beeldpunt B zo dat B even ver achter de spiegel ligt als L ervoor.

Op deze manier kun je het spiegelbeeld van elk punt van het voorwerp bepalen. Nummer de punten van het voorwerp: L_1, L_2, L_3, enzovoort. Nummer de punten van het beeld: B_1, B_2, B_3, enzovoort. Als een punt niet recht voor de spiegel ligt, mag je de spiegel in je tekening verlengen om het beeldpunt te kunnen vinden.

▼ **figuur 28**
Zo teken je het spiegelbeeld van een voorwerp.





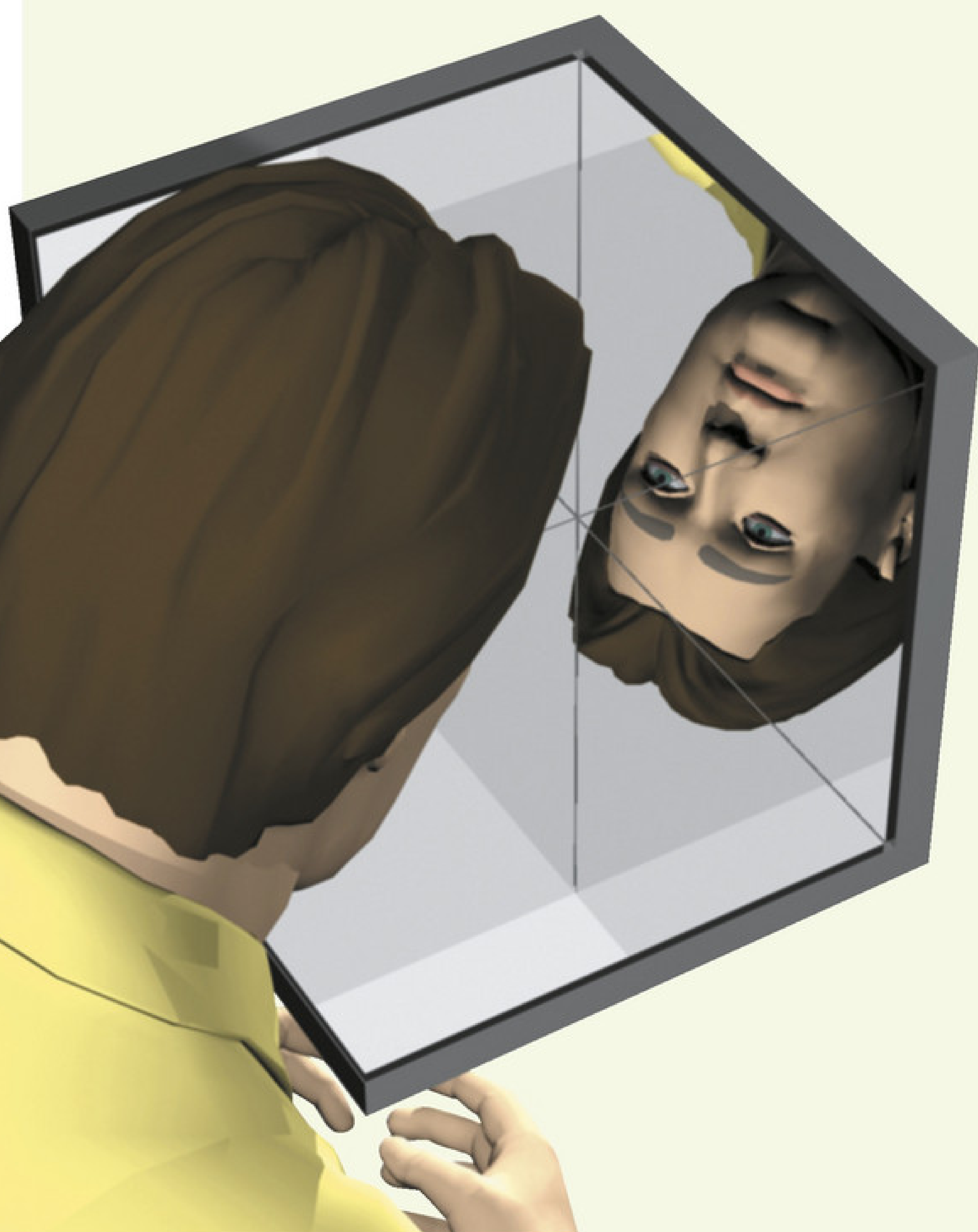
▲ figuur 29
Zo teken je de teruggekaatste lichtstraal met behulp van het beeldpunt.

De teruggekaatste lichtstraal tekenen

Als je wilt tekenen hoe een spiegel het licht van een lichtbron L terugkaatst, hoef je niet de spiegelwet te gebruiken. Meestal is het eenvoudiger om eerst het beeldpunt B van de lichtbron te tekenen. Daarna kun je gebruikmaken van het feit dat de teruggekaatste lichtstralen uit het punt B lijken te komen.

In figuur 29 zie je een tekening waarin een willekeurige lichtstraal door een spiegel wordt teruggekaatst. Om zo'n tekening te maken, teken je eerst het beeldpunt van L. Dit is het punt B. Daarna trek je vanuit B de lijn *l*: eerst onderbroken achter de spiegel, daarna als doorgetrokken lijn voor de spiegel. Het doorgetrokken gedeelte voor de spiegel is de teruggekaatste lichtstraal.

▼ figuur 30
beeldvorming in een tripelspiegel

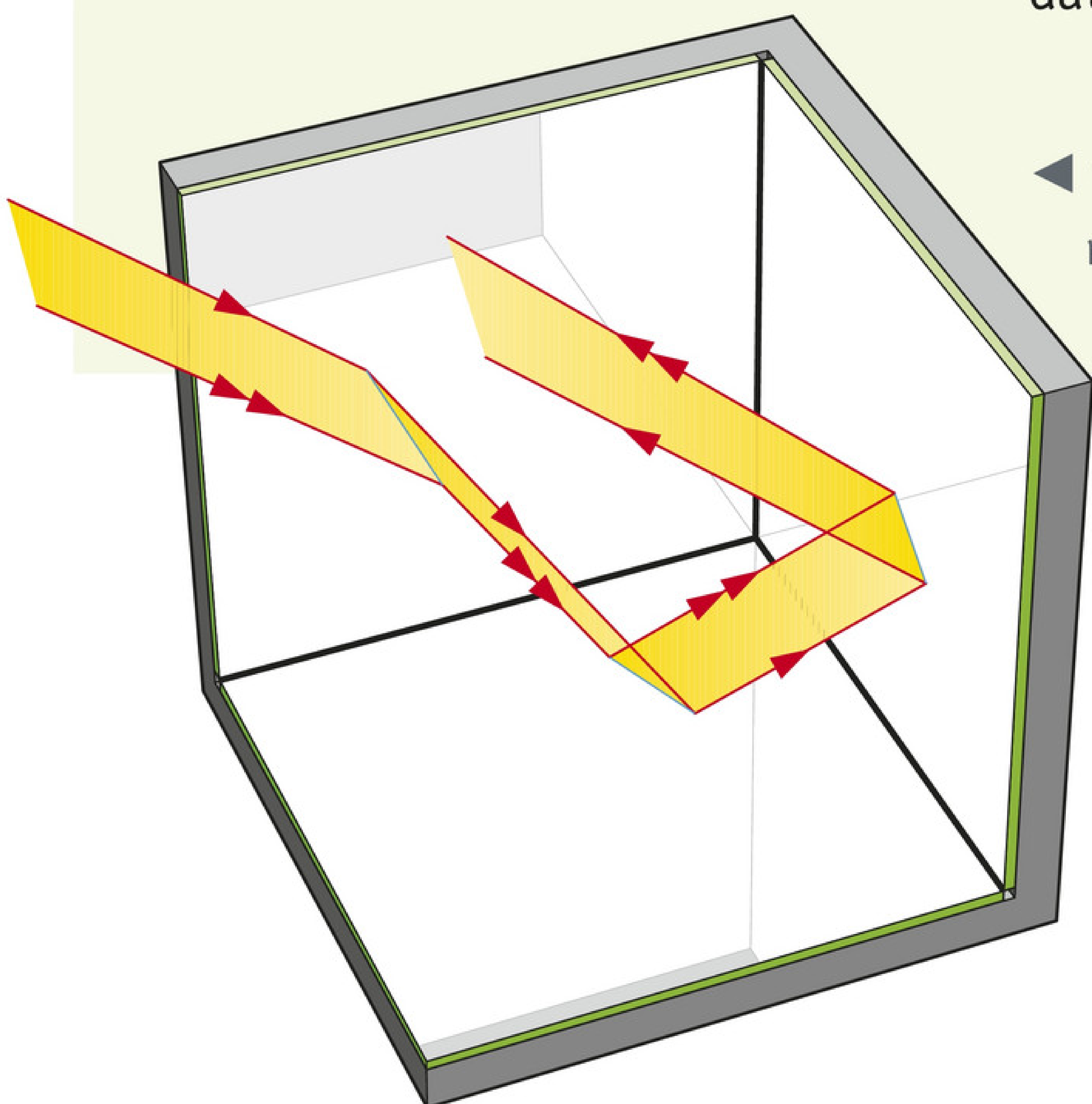


Plus Reflectoren

De man in figuur 30 kijkt in een zogenoemde tripelspiegel. Zo'n spiegel bestaat uit drie spiegels, die loodrecht op elkaar zijn geplaatst. Als je in een **tripelspiegel** kijkt, zie je je gezicht 'op de kop'. Als je met je hoofd van links naar rechts gaat, beweegt het spiegelbeeld net de andere kant op.

Met een dunne lichtbundel kun je onderzoeken hoe een tripelspiegel het licht reflecteert. Je ziet dan dat een lichtbundel die in de tripelspiegel valt, drie keer wordt weerkaatst – één keer door elke spiegel. Het eindresultaat is dat de richting van de lichtbundel precies omdraait: het licht gaat weer terug naar waar het vandaan kwam (figuur 31).

Tripelspiegels worden toegepast in **reflectoren**. Een fietsreflector bestaat bijvoorbeeld uit een groot aantal tripelspiegeltjes. Als een auto met zijn koplampen in de reflector schijnt, wordt het licht weerkaatst in de richting van de auto. De bestuurder wordt er daardoor voor gewaarschuwd dat er een fietser voor hem op de weg rijdt.



◀ figuur 31
reflectie in een tripelspiegel

opgaven

Leerstof

26 Maak een tekening van een lichtstraal die door een vlakke spiegel wordt teruggekaatst. Geef in je tekening aan:
- **a** in welke richting het licht beweegt.
- **b** welke (halve) lijn de normaal is.
- **c** wat de hoek van inval is.
- **d** wat de hoek van terugkaatsing is.

27 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Wat is het verschil tussen spiegelende terugkaatsing en diffuse terugkaatsing?
- **b** Waaraan merk je dat je spiegelbeeld echt achter de spiegel lijkt te liggen?
- **c** Op welke moeilijkheid stuit je als je tekst via een spiegel probeert te lezen?
- **d** Een punt L staat 4,5 cm voor een spiegel. Waar teken je het beeldpunt B?

Toepassing

28 Op de ruit van een kapperszaak staat vanaf de straat gezien het woord KAPPER.
Hoe ziet een klant in de kapperszaak dit woord:
- **a** als hij rechtstreeks door de ruit naar buiten kijkt?
- **b** als hij via een kappersspiegel naar buiten kijkt?

29 Bij deze opgave heb je werkblad 8-4 nodig.
Teken in de figuren a tot en met e op het werkblad:
- **a** de normaal op de juiste plaats.
- **b** de teruggekaatste lichtstraal.

30 Bij deze opgave heb je werkblad 8-5 nodig.
Op een spiegel valt een lichtbundel uit een zaklantaarn.
Teken hoe de lichtbundel wordt teruggekaatst.

***31** Bij deze opgave heb je werkblad 8-6 nodig.
Een zonne-energiecentrale bestaat uit een groot aantal vlakke spiegels die het zonlicht naar een oven moeten weerkaatsen. De spiegels staan op palen. Je ziet de oven, drie palen (de spiegels zijn nog niet getekend) en de richting van het zonlicht.
Teken op het werkblad in welke stand de spiegels moeten worden gezet om het licht van de zon naar het midden van de oven te spiegelen.

***32** Bekijk de foto van de zonsondergang in figuur 32.
Leg uit:
- **a** waardoor de smalle baan licht ontstaat die je over het water ziet lopen.
- **b** hoe het komt dat die baan licht altijd recht op de toeschouwer afkomt.
- **c** wat de oorzaak is van de donkere strepen die de baan licht onderbreken.



▲ **figuur 32**
een gespiegelde zonsondergang

33 Vervolg van vraag 32.
Heel soms kun je in de zee het spiegelbeeld van de ondergaande zon zien, in plaats een baan licht zoals in figuur 32.
- **a** Wat is er nodig om een perfect gespiegelde, ronde zonneschijf te zien?
- **b** Hoe komt het dat je dit eerder in een meertje zult zien dan in de zee?

34 Bij deze opgave heb je werkblad 8-7 nodig.
Hans bekijkt zichzelf in een spiegel.
- **a** Teken de beeldpunten:
  - van het topje van zijn hoofd (L_1).
  - van zijn rechteroog (L_2).
  - van het puntje van zijn neus (L_3).
  - van zijn kin (L_4).
- **b** Teken nu het spiegelbeeld van zijn gezicht.

35 Bij deze opgave heb je werkblad 8-8 nodig.
Mirjam en Els staan voor een grote spiegelende etalageruit. Dit is op het werkblad in bovenaanzicht getekend.
Maak met een nauwkeurige tekening duidelijk of ze elkaar via de ruit kunnen zien.



▲ **figuur 33**
Reflecterende strepen geven extra veiligheid.

Plus Reflectoren

36 Bekijk de fietser in figuur 33.
- **a** Is de fietser (inclusief zijn fiets) een directe lichtbron?
- **b** Wanneer wordt de fietser een indirecte lichtbron?
- **c** Automobilisten kunnen de fietser beter zien, als hij lichte kleding draagt.
  Leg uit hoe dat komt.
- **d** Wat gebeurt er met licht dat op donkere kleding valt? Waarom is dat minder veilig voor de fietser?
- **e** De fietser in figuur 33 heeft een jas aan met reflectiestrepen.
  Hoe weerkaatsen die strepen het licht van een auto: diffuus of spiegelend? Waaraan zie je dat?
- **f** Waardoor geven zulke reflectiestrepen extra veiligheid?

37 Welk voordeel heeft een reflector achter op het spatbord van een fiets in vergelijking met een gewone spiegel?

38 Bij deze opgave heb je werkblad 8-9 nodig.
Op het werkblad is het oppervlak van een reflector in doorsnede getekend. Op de reflector valt een evenwijdige lichtbundel.
Teken hoe het licht wordt teruggekaatst.

4 Infrarood en ultraviolet



▲ **figuur 34**
pasgeboren geitjes onder de warmtelamp

De zon zendt niet alleen licht uit, maar ook infrarode en ultraviolette straling. Deze soorten straling lijken veel op licht. Ze vallen alleen veel minder op, omdat je ogen er niet gevoelig voor zijn. Voor sommige dieren is dat anders. Veel vogels kunnen bijvoorbeeld uitstekend zien in het ultraviolet.

Infrarode straling

Alle voorwerpen om je heen, maar ook mensen en dieren, zijn bronnen van **infrarode straling** (IR). Hoe hoger de temperatuur van het voorwerp, des te meer straling het uitzendt. Dat merk je bijvoorbeeld als je een hand voor een hete radiator houdt. Je voelt dat je hand warm wordt, doordat die de infrarode straling van de radiator absorbeert.

Warmtelampen zenden, behalve een beetje rood licht, vooral veel infrarode straling uit. Ze worden veel gebruikt om pasgeboren jonge dieren warm te houden (figuur 34), maar je komt ze ook tegen in terras-verwarmingen en infraroodsauna's. Mensen en dieren ervaren de straling die deze lampen uitzenden, als 'aangenaam warm'.

Als je een spectrum maakt van een warmtelamp, vind je de infrarode straling naast het rood. Om dat vast te stellen, kun je een sensor gebruiken die gevoelig is voor infrarood. Er bestaan ook infraroodcamera's, waarmee je infrarode straling kunt fotograferen. De naam 'infrarood' betekent letterlijk 'vóór het rood'.



▲ **figuur 35**
een buitenlamp met een infraroodsensor

Toepassingen van infrarode straling

Infrarode straling wordt onder andere toegepast in de afstandsbediening van apparaten. In zo'n afstandsbediening zit een led die infrarode straling produceert. Als je op een knopje drukt, zendt de led een reeks infrarode 'flitsen' uit. Dit signaal wordt opgevangen door een infraroodsensor in het apparaat en daarna verwerkt door de elektronica.

Van infrarode straling wordt ook gebruikgemaakt in automatische schakelingen. De sensor in een buitenlamp reageert bijvoorbeeld op infrarode straling die door voorbijlopende mensen wordt uitgestraald. De sensor schakelt dan de stroom in, zodat de lamp gaat branden (figuur 35).

Infraroodsensoren vind je ook in alarminstallaties en in winkeldeuren die automatisch openen en sluiten. In het leger worden nachtkijkers gebruikt die onzichtbare infrarode straling omzetten in een zichtbaar beeld.



▲ figuur 36
Een petje beschermt de gevoelige gezichtshuid tegen uv-straling.

Ultraviolette straling

Als je in de zon ligt, valt er behalve licht ook **ultraviolette straling** (uv) op je huid. Je huid reageert daarop door extra kleurstof aan te maken: je wordt bruin. De kleurstof die je huid bruin kleurt, heeft een beschermende werking. Daardoor kun je langer in de zon blijven als je huid eenmaal bruin is.

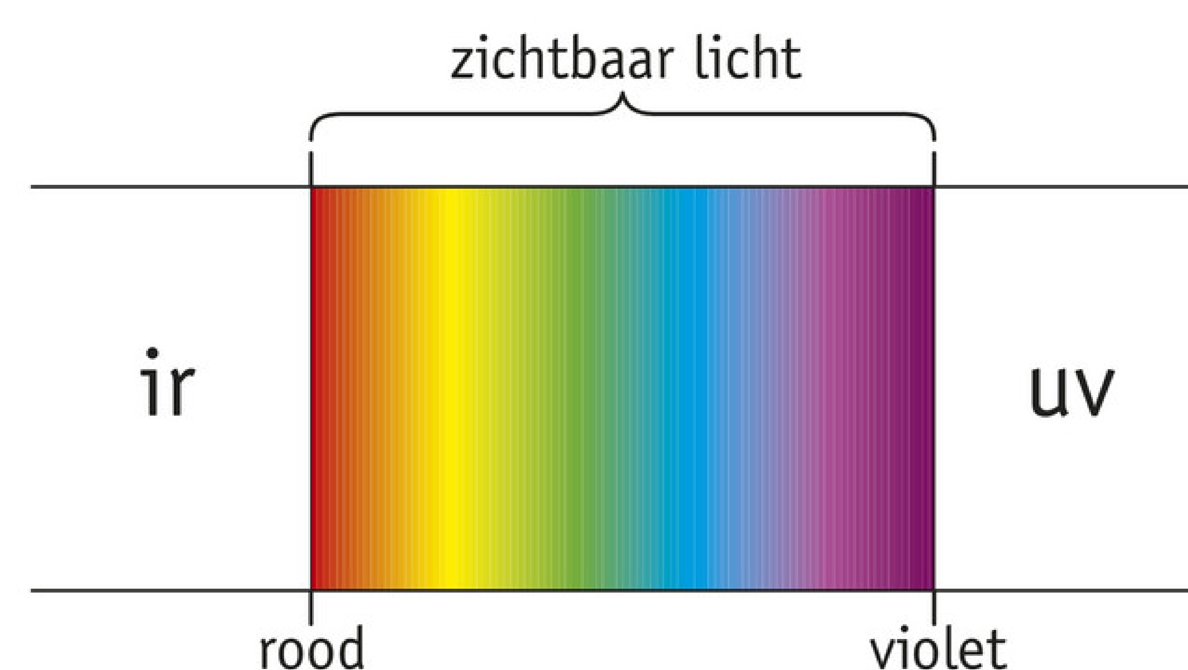
Als er te veel ultraviolette straling op je huid terechtkomt, kun je last krijgen van zonnebrand. Je huid wordt dan rood en pijnlijk. Dat is een teken dat je huidcellen beschadigd zijn. Dat is niet alleen vervelend, maar levert ook risico voor je gezondheid op: te veel ultraviolette straling vergroot de kans op huidkanker. Vandaar dat mensen worden opgeroepen 'verstandig te zonnen' (figuur 36).

Zonnebrandcrème bevat een uv-filter dat een deel van de ultraviolette straling tegenhoudt. Als je zo'n crème gebruikt, verbrand je minder snel. Op de verpakking staat de **beschermingsfactor** vermeld. Dit getal geeft aan hoeveel keer langer je in de zon kunt blijven. Een crème met factor 10 maakt die tijd bijvoorbeeld tien keer zo lang. Als je zonder crème 5 minuten kunt zonnen, wordt dat met de crème dus 10 × 5 = 50 minuten.

Uv-lampen

Er zijn lampen die vooral ultraviolette straling uitzenden. Denk bijvoorbeeld aan de **uv-lampen** in zonnebanken en de blacklights in discotheken. Behalve ultraviolette straling geven deze lampen ook een beetje violet licht. Aan dit violette licht kun je uv-lampen en blacklights herkennen.

Als je een spectrum maakt van een uv-lamp, vind je de ultraviolette straling naast het violet. Dat kun je nagaan door de hoeveelheid ultraviolette straling te meten met een uv-sensor. De naam 'ultraviolet' betekent letterlijk 'voorbij het violet' (figuur 37).



▶ figuur 37
de ligging van infrarood en ultraviolet in het spectrum

Proef 7

Ultraviolette straling kan sommige stoffen sterk oplichten. Dit wordt **fluoresceren** genoemd. Fluorescerende stoffen worden onder andere toegepast in tl-buizen en bankbiljetten. Onder een uv-lamp licht de fluorescerende inkt van een echt bankbiljet duidelijk op; een vervalsing waarvoor geen fluorescerende inkt gebruikt is, doet dat niet (figuur 38).



▶ **figuur 38**
Een bankbiljet wordt gecontroleerd onder een uv-lamp.

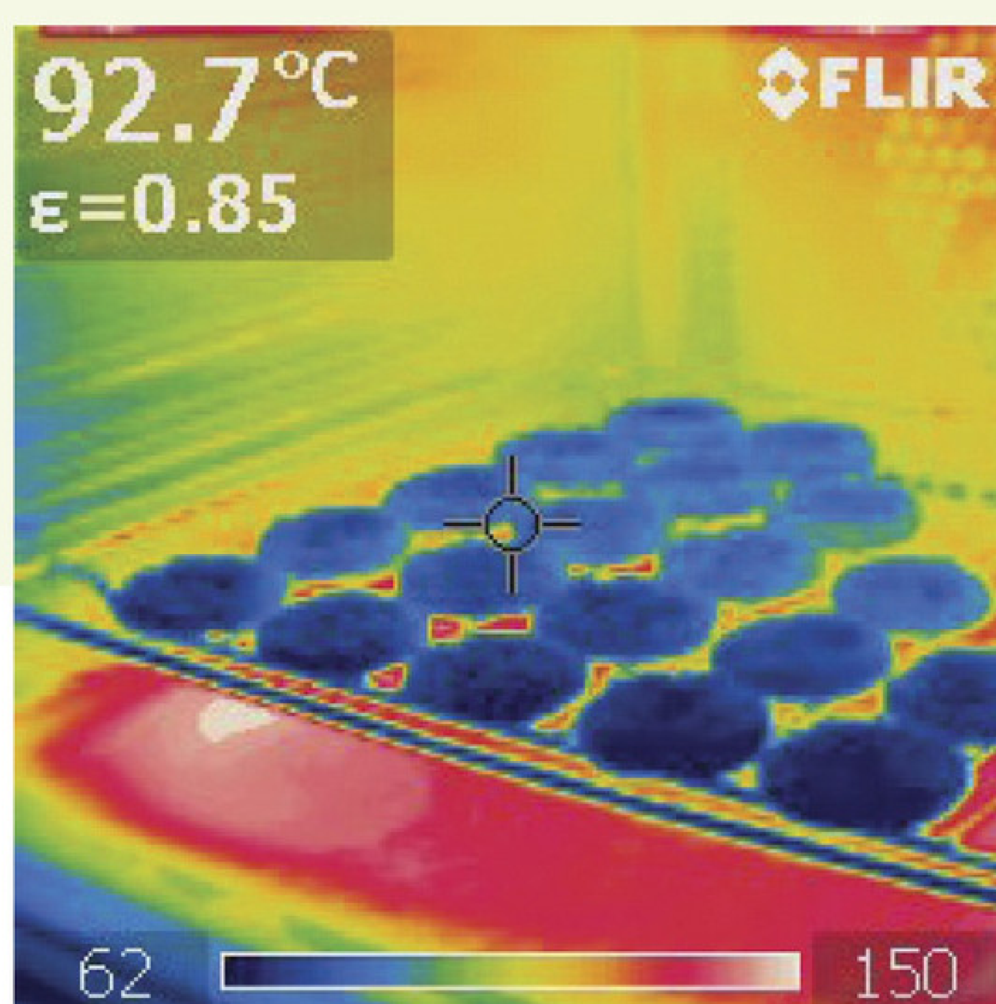
Plus De infraroodcamera

Een infraroodcamera lijkt op een gewoon fototoestel. Je kunt er ook mee fotograferen. Het verschil is dat de chip in een infraroodcamera niet gevoelig is voor licht, maar voor infrarode straling. Je kunt er thermogrammen mee maken: foto's waarop te zien is, hoe hoog de temperaturen in de gefotografeerde scène zijn (figuur 39).

Een **thermogram** is een voorbeeld van een beeld in valse kleuren (Engels: *false colour image*). De kleuren in zo'n beeld worden gebruikt om informatie weer te geven, niet om de echte kleuren vast te leggen. Bij een thermogram geven de kleuren informatie over de temperatuur, op basis van de hoeveelheid uitgezonden infrarode straling.

Om een thermogram te kunnen 'lezen', heb je een schaal nodig die laat zien welke temperatuur bij elke kleur hoort. De temperatuurschaal in figuur 39 loopt van 62 °C (blauw) naar 150 °C (rood). Deze kleuren zijn zo gekozen door de ontwerpers van de camera. Er zijn ook thermogrammen waarin wit de hoogste temperatuur aangeeft.

▼ **figuur 39**
een thermogram en een gewone foto





opgaven

Leerstof

39 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Waaraan kun je merken dat een hete radiator infrarode straling uitzendt?
- **b** Hoe geeft een afstandsbediening jouw commando's door aan het apparaat?
- **c** Wat voor straling zenden uv-lampen nog meer uit, naast veel ultraviolet?
- **d** Wat zie je als er ultraviolette straling op een fluorescerende stof valt?

40 Met een prisma kun je de straling van de zon splitsen zodat er een spectrum ontstaat.
- **a** Teken hoe het spectrum van zonlicht eruitziet, met de verschillende kleuren op de juiste plaats.
- **b** Geef aan waar je de ultraviolette en infrarode straling van de zon in het spectrum kunt vinden.

41 Hieronder staan vier bronnen van infrarode of ultraviolette straling. Welk soort straling (ir of uv) wordt uitgezonden door:
- **a** een blacklight?
- **b** een terrasverwarmer?
- **c** een warmtelamp?
- **d** een zonnebank?

Toepassing

42 Als de terrasverwarming aanstaat, hebben de mensen op het terras geen last van de kou (figuur 40). Om de verwarmingselementen zitten kappen die een spiegelende binnenkant hebben.
- **a** Wat moet de binnenkant van de kap weerkaatsen?
- **b** Wat gaat er fout als het element niet zo'n kap zou hebben?

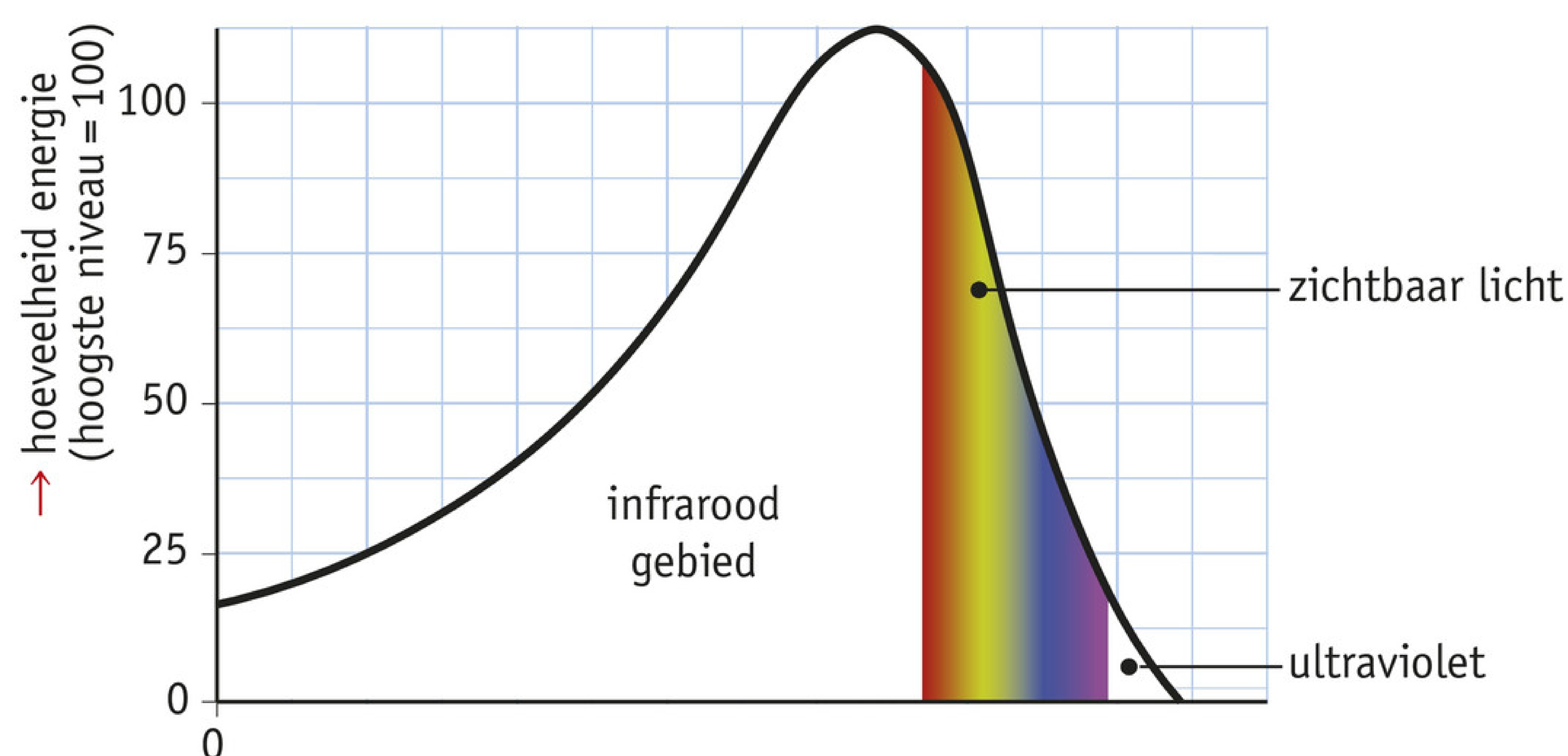


▲ **figuur 40**
Dankzij de terrasverwarming kun je lekker buiten blijven zitten.

43 Mensen, dieren en dingen worden warm als ze infrarode straling absorberen.
Leg uit hoe het komt:
- **a** dat mensen rond een kampvuur hun gezicht warm voelen worden terwijl hun rug koud blijft.
- **b** dat een kip onder een grill voortdurend rond moet draaien om gelijkmatig bruin te worden.
- **c** dat het helpt om je stoel 1 m naar achteren te schuiven, als je het bij een open haard te heet vindt worden.

***44** Een gloeilamp zet elektrische energie om in verschillende soorten straling. In figuur 41 zie je hoe de opgenomen energie over de verschillende soorten straling wordt verdeeld.

- **a** Waaraan zie je dat een gloeilamp niet erg zuinig is met energie?
- **b** Schets hoe de grafiek van een perfect zuinige lamp eruit zou zien.
- **c** Spaarlampen en led-lampen gaan veel efficiënter om met energie. Leg uit hoe je dat kunt voelen, als je een hand bij zo'n lamp houdt.



▶ **figuur 41**
de samenstelling van de straling van een gloeilamp



▲ **figuur 42**
lasser met een laskap

45 Lassers dragen een lashelm (figuur 42). Het glas dat in zo'n helm zit, absorbeert infrarood, zichtbaar licht en ultraviolet.

- **a** Stel dat de lasser géén helm zou dragen.
  Welk soort straling zou dan:
  - de lasser tijdens het lassen te veel verblinden?
  - de ogen van de lasser blijvend beschadigen?
  - het gezicht van de lasser erg heet maken?
- **b** Welke soort straling mag niet volledig tegengehouden worden?
- **c** Wat zou er anders fout gaan?

***46** Een fabrikant van zonnebrandolie heeft een draaischijf uitgebracht waarop voor verschillende huidtypes (I, II en III), de zontijd-zonder-olie (ZZ), de geadviseerde beschermingsfactor (BF) en de maximale zontijd-met-olie (ZM) staan aangegeven. Zie tabel 2. De beschermingsfactor geeft aan hoeveel keer de zontijd-zonder-olie maximaal kan worden verlengd door het gebruik van die olie.
Neem de tabel over en vul de ontbrekende getallen in.

▼ **tabel 2** zonnetabel

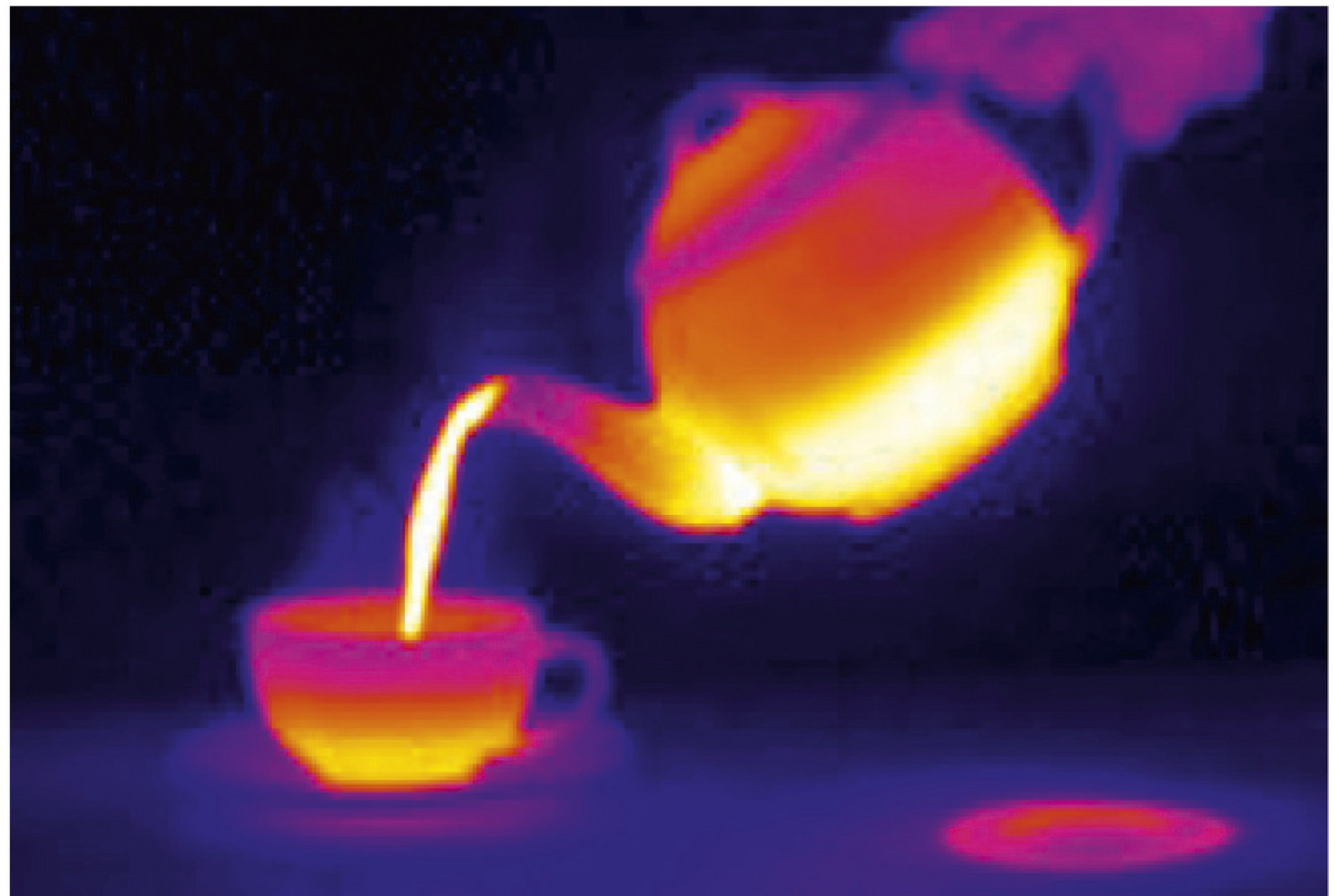
huidtype	I	II	III
ZZ (in min)	15		25
BF	20	12	
ZM (in min)		300	200

47 Zoek op internet informatie over sneeuwblindheid.
- **a** Wat is sneeuwblindheid en waardoor wordt het veroorzaakt?
- **b** Hoe komt het dat vooral wintersporters hier last van krijgen?
- **c** Waarom loop je in Nederland weinig risico op sneeuwblindheid?
- **d** Wat moet je doen om je tegen sneeuwblindheid te beschermen?

Plus De infraroodcamera

48 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Waarom wordt een thermogram een 'false colour image' genoemd?
- **b** Welke informatie kun je uit de kleuren in een thermogram afleiden?
- **c** Wat heb je nodig om een thermogram juist te kunnen interpreteren?

49 Bekijk het thermogram in figuur 43.
- **a** Welke kleur geeft de hoogste temperatuur aan?
- **b** Welke kleur geeft de laagste temperatuur aan?
- **c** Waaraan kun je zien dat de thee flink heet is?
- **d** Welk deel van de theepot is het heetst? Hoe komt dat?
- **e** De theepot heeft eerst even rechts op de tafel gestaan. Hoe kan het dat je daar nu een 'thermische schaduw' ziet?



▶ **figuur 43**
thee inschenken op een thermogram

***50** Leg uit hoe het komt:
- **a** dat mensen op een thermogram dat 's nachts gemaakt is, duidelijk afsteken tegen hun omgeving.
- **b** dat je een lek in de leidingen van de vloerverwarming vaak snel kunt opsporen met een thermogram.
- **c** dat een voet met een slechte bloedsomloop er op een thermogram anders uitziet dan een gezonde voet.

Practicum

Proef 1 Een spectroscoop maken 20 min

Inleiding
Als er op een zonnige dag een regen- of onweersbui overkomt, zie je soms een regenboog. De zon schijnt dan op de waterdruppels die het zonlicht in verschillende kleuren splitsen. Met een spectroscoop kun je wit licht ook splitsen in de verschillende kleuren waar het uit bestaat.

Doel
In deze proef ga je zelf een eenvoudige spectroscoop maken met een stuk traliefolie.

Nodig
- stukje traliefolie
- strook karton
- plakband
- perforator

NB Eén kant van het traliefolie (herkenbaar aan een licht waas) is heel kwetsbaar. Raak die kant niet met je vingers aan.

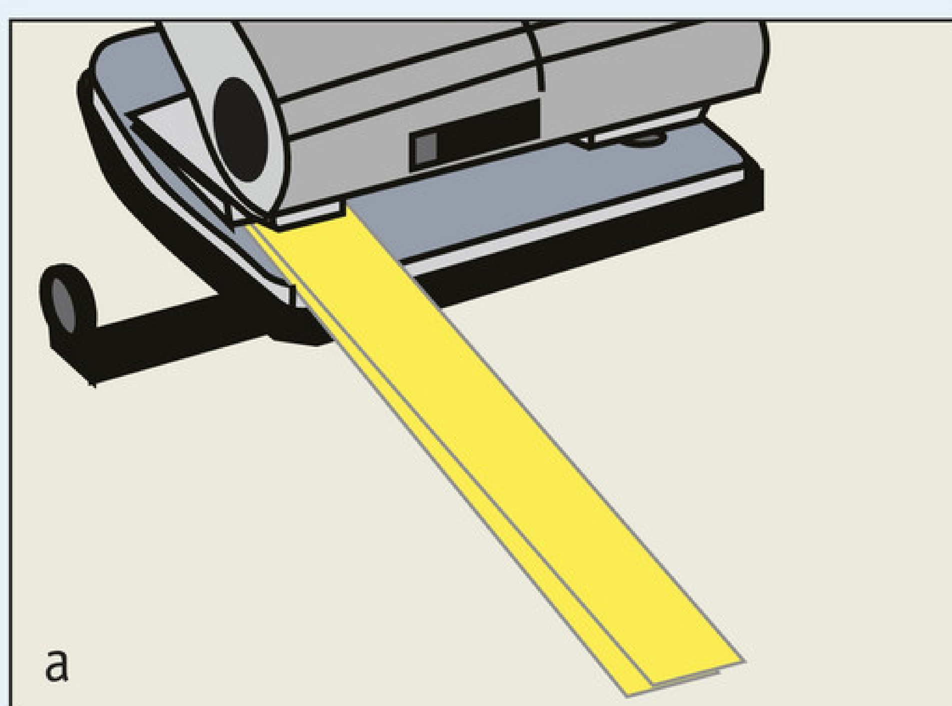
Uitvoeren en uitwerken
Een spectroscoop maken
- Vouw de strook karton dubbel, met de korte kanten op elkaar.
- Schuif de vouw in de perforator (figuur 44a). Maak vlak bij de vouw een perforatie (figuur 44b).
- Scheur een klein stukje plakband af en plak dat op de rand van het traliefolie (met 1 mm overlap).
- Gebruik het plakband om het traliefolie op de perforatie in de strook te leggen (figuur 44c).
- Druk het plakband stevig aan, om het traliefolie op deze plaats vast te maken (figuur 44d).
- Vouw de strook weer dubbel. Maak de stroken vlak onder de perforatie met een stukje plakband aan elkaar vast (figuur 44e).

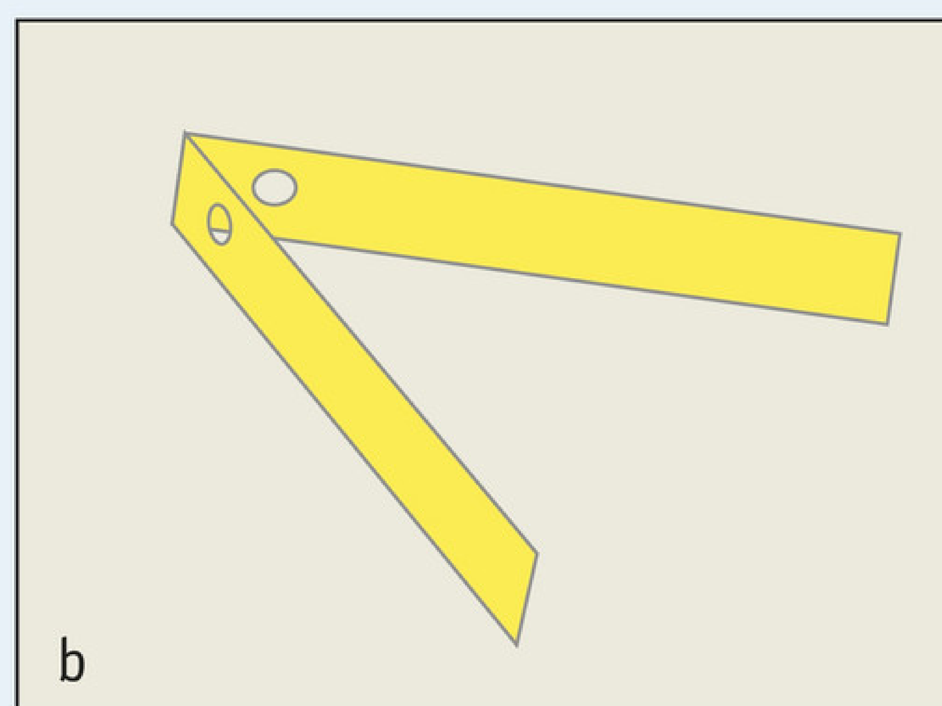
Een spectroscoop gebruiken
- Houd de spectroscoop vlak voor een oog en kijk net naast een lichtbron. Je ziet dan de kleuren waaruit de lichtbron bestaat.
- Kijk door de spectroscoop naar buiten, maar NIET recht in de richting van de zon!

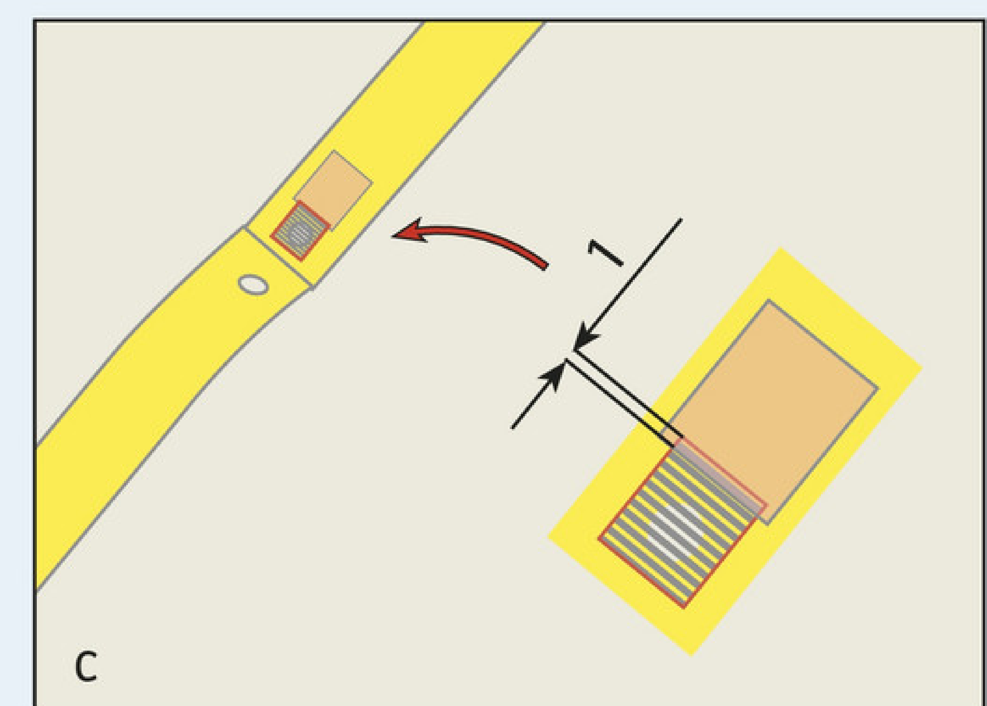
1 Uit welke kleuren bestaat het daglicht?

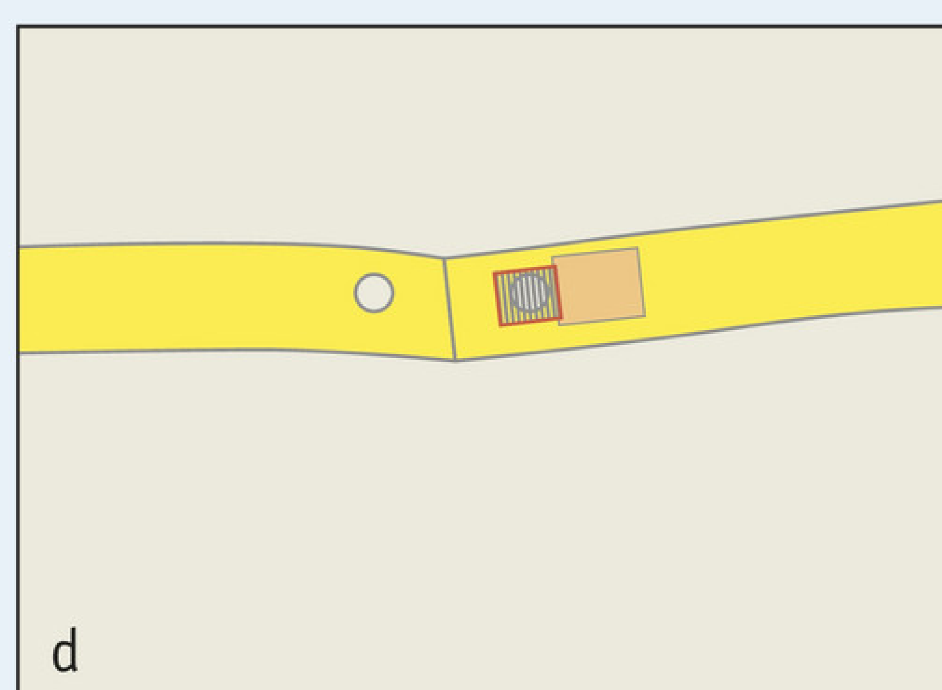
- Kijk door de spectroscoop naar verschillende bronnen van wit licht.

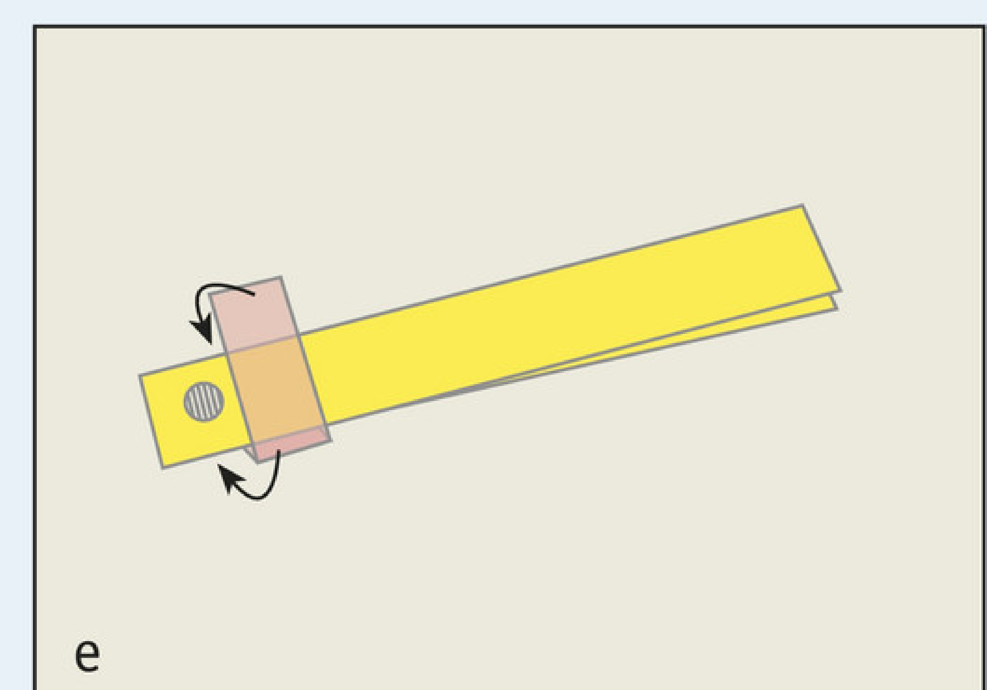
2 Heeft het licht van deze lichtbronnen dezelfde samenstelling als zonlicht? Waaraan zie je dat?











▲ **figuur 44**
Zo maak je je eigen zakspectroscoop.

Proef 2 De spectra van lampen 20 min

Inleiding
Het licht van een lamp bestaat uit verschillende kleuren. Als je het lamplicht door een spectroscoop bekijkt, zie je de verschillende kleuren naast elkaar. Zo'n reeks kleuren noem je het spectrum van de lamp.

Doel
Bij deze proef ga je onderzoeken hoe het spectrum van verschillende lampen eruitziet.

Nodig
- zakspectroscoop
- tl-buis
- lagedruk-natriumlamp (SOX)
- sl-lamp
- halogeenlamp
- kwiklamp
- kleurpotloden

Uitvoeren en uitwerken
– Gebruik de zakspectroscoop om het spectrum van de verschillende lampen te bekijken.

1 Teken met kleurpotloden de spectra van de lampen na.
2 Welke lamp geeft maar één kleur licht?

Proef 3 Kernschaduw en halfschaduw 15 min

Inleiding
Met twee lampen boven een tafelblad krijg je andere schaduwen dan met één lamp. Vaak kun je dan een donkere kernschaduw zien, tussen twee lichtere halfschaduwen.

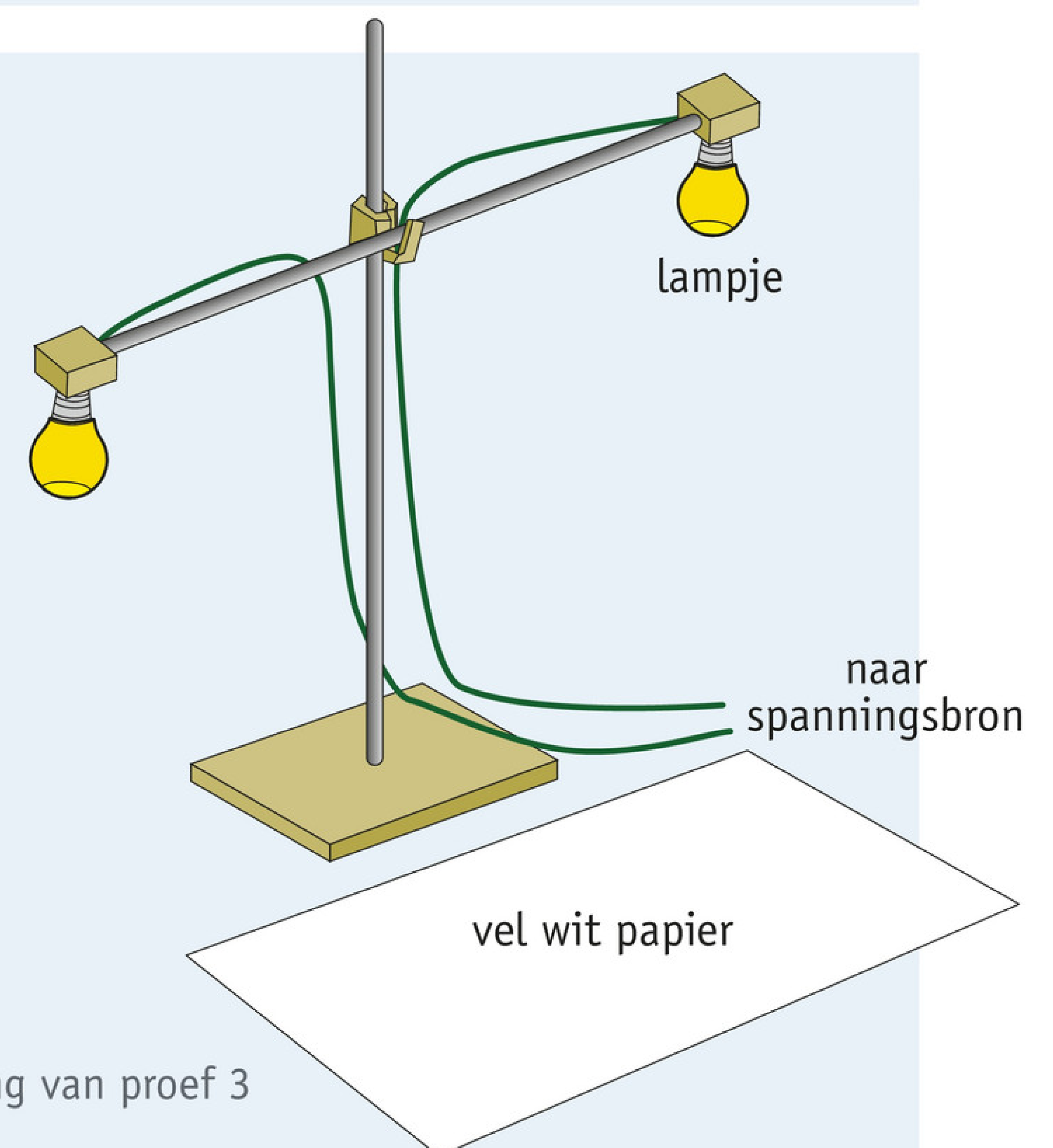
Doel
Bij deze proef ga je onderzoeken hoe je een kernschaduw en halfschaduwen kunt laten ontstaan.

Nodig
- statief met klemmen
- twee lampjes
- spanningsbron
- snoeren
- vierkant stukje karton
- vel wit papier

Uitvoeren en uitwerken
– Maak de opstelling van figuur 45.
– Houd het kartonnen vierkantje tussen de lampjes en het vel wit papier. Beweeg het kartonnetje op en neer.

1 Beschrijf hoe je de schaduwen ziet veranderen:
a als je het kartonnetje omhoog beweegt, richting de lampjes.
b als je het kartonnetje omlaag beweegt, richting het vel papier.

– Houd het kartonnetje zo dat je twee lichtere schaduwen naast elkaar ziet, die elkaar niet overlappen. Dit noem je halfschaduwen.
– Draai het linker lampje los zodat het uitgaat.



▶ **figuur 45**
de opstelling van proef 3

2 Welke halfschaduw verdwijnt nu? Hoe komt dat?

– Draai het linker lampje weer vast, zodat je opnieuw twee halfschaduwen ziet. Houd het kartonnetje nu zo dat de twee halfschaduwen elkaar gaan overlappen.

3 Hoe ziet de kernschaduw eruit: het gebied waar de twee halfschaduwen over elkaar heen vallen?
4 Schets in je schrift hoe deze schaduwen eruitzien. Schrijf de namen kernschaduw en halfschaduw op de juiste plaatsen in je tekening.

Proef 4 Spiegelbeelden bekijken 15 min

Inleiding
Het spiegelbeeld van een voorwerp ziet er net zo uit als het voorwerp zelf, zeg je op het eerste gezicht. Dat er met het spiegelbeeld toch iets geks aan de hand is, merk je als je letters via een spiegel bekijkt. Een woord dat je normaal gesproken vlot kunt lezen, ziet er dan opeens anders uit.

Doel
Je gaat het verschil tussen spiegelbeeld en werkelijkheid onderzoeken.

Nodig
- spiegel

Uitvoeren en uitwerken
– Kijk via de spiegel naar je buurman of buurvrouw.

1 Kan je buurman of buurvrouw jou ook tegelijkertijd via de spiegel zien?

– Op het bord is een zin in spiegelschrift geschreven. Kijk via de spiegel naar het bord.

2 Hoe zie je die zin nu?

– Schrijf je naam, terwijl je tijdens het schrijven naar je hand met de pen in de spiegel kijkt.

3 Leg uit wat daar zo moeilijk aan is.

– Schrijf je naam in spiegelschrift, zonder de spiegel te gebruiken.

4 Controleer het resultaat met de spiegel. Klopt het?
5 Bekijk figuur 46. Welk woord is hier in spiegelschrift geschreven?
6 Leg uit waarom hier spiegelschrift is gebruikt.

– Schrijf de woorden 'STOP POLITIE!' in spiegelschrift, zonder de spiegel te gebruiken.

7 Controleer het resultaat met de spiegel. Klopt het?
8 Waar zou je deze zin in spiegelschrift kunnen tegenkomen, denk je?



▲ **figuur 46**
een praktische toepassing van spiegelschrift

Proef 5 De spiegelwet 15 min

Inleiding
Met een spiegeltje kun je het licht van de zon weerkaatsen naar een muur. Je ziet dan op één plaats een lichtvlek verschijnen. Als je het spiegeltje beweegt, beweegt de lichtvlek mee. Zou je kunnen voorspellen waar het zonlicht terechtkomt?

Doel
Bij deze proef onderzoek je in welke richting een spiegel het licht weerkaatst.

Nodig
- spiegel
- lichtkastje
- diafragma met één opening
- werkblad 8-10

Uitvoeren en uitwerken
– Pak werkblad 8-10 erbij. Zet de spiegel op de aangegeven plaats.
– Schuif het diafragma met één opening in het lichtkastje.

– Laat een lichtstraal op de spiegel vallen, zoals op het werkblad getekend is. De hoek van inval is hier 30 graden.

1 Neem tabel 3 over in je schrift.

– Bepaal bij elke hoek van inval de hoek van terugkaatsing.

2 Noteer de meetresultaten in de tabel.
3 Welke conclusie kun je trekken?

▼ **tabel 3** de meetresultaten van proef 5

hoek van inval *i*	hoek van terugkaatsing *t*
10°	
20°	
30°	
40°	
50°	
60°	
70°	
80°	

Proef 6 De plaats van het spiegelbeeld 20 min

Inleiding
Het spiegelbeeld dat ontstaat van een voorwerp voor de spiegel, is een virtueel beeld (schijnbeeld).

Doel
Je onderzoekt op welke plaats je dit virtuele beeld waarneemt.

Nodig
- spiegel + spiegelhouder
- werkblad 8-11

Uitvoeren en uitwerken
– Pak werkblad 8-11 erbij. Zet de spiegel op de aangegeven plaats in tekening a, loodrecht op het papier.
– Zet een stip op de plaats waar je het spiegelbeeld van L_1 ziet (wel even door je knieën). Zet er B_1 bij.
– Doe hetzelfde met de punten L_2, L_3 en L_4, en zet bij de beeldpunten respectievelijk B_2, B_3 en B_4.
– Verbind L_1 met B_1, L_2 met B_2, enzovoort.

1 Wat kun je zeggen over de plaats van het spiegelbeeld?

– Bekijk tekening b op het werkblad. Teken met behulp van de spiegel het spiegelbeeld van de verschillende letters.

Proef 7 Fluorescentie 15 min

Inleiding
Als een fluorescerende stof wordt beschenen met een uv-lamp, wordt de uv-straling geabsorbeerd. Een deel van de geabsorbeerde straling wordt weer uitgezonden als zichtbaar licht: je ziet de stof 'oplichten'. Als uv-lamp kun je een zogenaamde blacklight gebruiken.

Doel
Je gaat de werking van een blacklight onderzoeken. De onderzoeksvraag luidt:

Hoe zien bankbiljetten, reflecterende stroken op regenjassen, inkt van merkpennen eruit als ze met uv-licht worden beschenen?

Nodig
- blacklight
- bankbiljetten
- veiligheidshesje met reflecterende stroken
- markeerpen
- vel wit papier
- gedeeltelijk verduisterde ruimte

Uitvoeren en uitwerken

- Schijn met de blacklight op verschillende bankbiljetten.

1 Waar zie je fluorescentie optreden?
2 Beschrijf hoe de fluorescentie eruitziet.

- Schijn met de blacklight op het vel wit papier.

3 Treedt er nu fluorescentie op?
4 Hoe ziet het papier eruit?

- Maak een eenvoudige figuur op het papier met de markeerpen en bekijk die met de blacklight.

5 Treedt er nu fluorescentie op?
6 Hoe ziet de getekende figuur eruit?

- Schijn met de blacklight op het hesje met de reflecterende strepen.

7 Treedt er fluorescentie op?
8 Beschrijf hoe het hesje er nu uitziet.

Proef 8 Een onderzoek uitvoeren: schimmenspel 45 min

Inleiding

Stel je voor: in een schimmenspel, ook wel schaduwtheater genoemd, wordt een verhaal verteld met schaduwbeelden (figuur 47). Het publiek zit voor een doorschijnend scherm, de spelers zitten erachter. Het scherm wordt van achteren verlicht door een lamp. De spelers houden platte poppen (aan stokjes) voor de lamp zodat de schaduwen van de poppen op het scherm vallen. Door de poppen heen en weer te bewegen, kunnen de schaduwen op het scherm groter en kleiner gemaakt worden. Bij deze opdracht ga je onderzoeken waar de grootte van zo'n schaduwbeeld van afhangt.



▲ figuur 47
een schimmenspel

Doel

Bij deze proef ga je een manier uitwerken om de grootte van een schaduw van tevoren te voorspellen.

Nodig

Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken

- Ga na welke manieren je kent om de waarde van een grootheid te voorspellen. Welke manier ga jij gebruiken?
- Formuleer de onderzoeksvraag (of onderzoeksvragen) die je bij dit onderzoek wilt beantwoorden.
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Wat ga je meten, welke practicumspullen heb je nodig, hoe ga je de metingen verwerken?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.

1 Je kunt lampen herkennen aan het licht dat ze uitstralen.
Noteer welk woord past in de zin.
Kies uit: *natriumlamp* – *spaarlamp* – *uv-lamp* – *warmtelamp*.

- **a** Een ... geeft zwak rood licht.
- **b** Een ... geeft helder geel licht.
- **c** Een ... geeft zwak violet licht.
- **d** Een ... geeft helder wit licht.

2 Welke twee auto's lijken in het licht van een SOX-natriumlamp dezelfde kleur te hebben?

- A een blauwe en een gele auto
- B een gele en een witte auto
- C een witte en een rode auto
- D een rode en een gele auto

3 Magnesiumoxide is een kleurstof die in verf gebruikt wordt. Deze kleurstof weerkaatst 98% van het zonlicht dat erop valt.
Welke kleur heeft magnesiumoxide?

- A helder geel
- B fel rood
- C helder wit
- D diep zwart

4 Op een parkeerterrein staan een witte auto en een zwarte auto in de felle zon.

- **a** Welke auto absorbeert het zonlicht grotendeels?
- **b** Welke auto weerkaatst het zonlicht grotendeels?
- **c** Welke auto wordt het heetst?

5 Een tafel wordt verlicht door twee hanglampen. Als je je hand boven de tafel houdt, zie je verschillende schaduwen.
Hoe noem je:

- **a** de donkere schaduw in het midden?
- **b** de twee lichtere schaduwen aan weerszijden?

6 Welke twee soorten licht levert de lamp in figuur 48?

7 Wanneer krijg je sterke contrasten tussen licht en schaduw:

- **a** als het buiten een beetje mistig is of als de zon volop schijnt?
- **b** als je bureau verlicht wordt door een leeslamp of door een tl-buis?

8 Noteer of de volgende uitspraken waar (W) zijn of onwaar (O).

- **a** Warm licht is licht dat verhoudingsgewijs veel rood, oranje en geel bevat.
- **b** Lampen die voor sfeerverlichting gebruikt worden, geven vaak direct licht.
- **c** Indirect licht ontstaat als lamplicht weerkaatst tegen een muur of plafond.
- **d** Mist verstrooit het licht van de zon, zodat je gedempt, diffuus licht krijgt.
- **e** Als zonlicht op pas gevallen sneeuw valt, wordt het spiegelend weerkaatst.

9 Tim zegt: "Als zonlicht op een vel wit papier valt, wordt het in alle richtingen teruggekaatst."
Ron zegt: "Als zonlicht op een spiegel valt, wordt het in één richting teruggekaatst."
Wie heeft er gelijk?

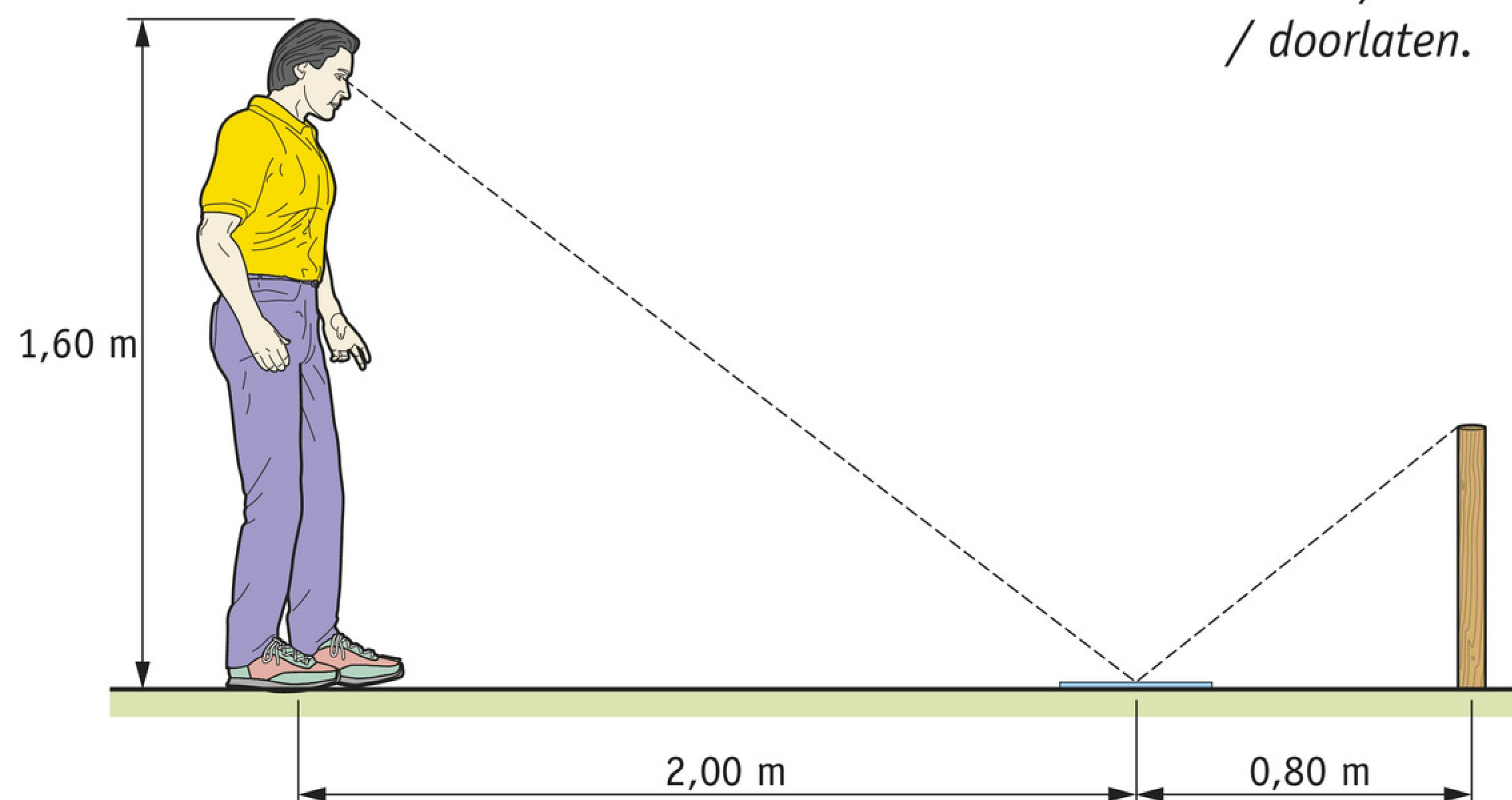
- A Ze hebben allebei gelijk.
- B Alleen Tim heeft gelijk.
- C Alleen Ron heeft gelijk.
- D Ze hebben geen van beiden gelijk.



▲ **figuur 48**
een lamp die twee soorten licht levert

10 Hieronder staan tien hoofdletters:
E H K M S T W X Y Z
Welke letters zien er precies hetzelfde uit als je ze via een spiegel bekijkt?

11 Peter legt een spiegeltje tussen zichzelf en een paal zo (horizontaal) neer, dat hij via het spiegeltje net de punt van de paal kan zien. Zie verder de gegevens in figuur 49.
Hoe hoog is de paal?
A 64 cm
B 48 cm
C 96 cm
D 72 cm



▲ **figuur 49**
de hoogte meten met behulp van een spiegel

12 Een lichtstraal wordt door een spiegel teruggekaatst. De hoek tussen de invallende en teruggekaatste lichtstraal bedraagt 80 graden.
Hoe groot is de hoek van de invallende lichtstraal met de spiegel?

13 Ook al zit je uren achter een ruit in de zon, toch word je niet bruin.
Wat houdt het vensterglas blijkbaar tegen?

14 Ir-straling wordt toegepast in:
A de afstandsbediening.
B de zonnebank.
C de natriumlamp.
D het röntgenapparaat.

15 Een hoefsmid verhit een hoefijzer tot het ijzer roodgloeiend is.
Welke soort(en) straling zendt het hoefijzer dan uit?
A alleen infrarode straling
B infrarode straling en licht
C alleen ultraviolette straling
D ultraviolette straling en licht

16 Kies steeds de juiste mogelijkheid.
Als je bij zonnig weer gaat skiën, moet je je goed insmeren met zonnebrandolie. Dat is nodig, omdat de sneeuw *infrarode / ultraviolette* straling weerkaatst. Bovendien is de atmosfeer boven je *dikker / dunner* en zal dus meer straling *absorberen / doorlaten*.

17 Bij deze opgave heb je werkblad 8-12 nodig.
Voor een wit scherm staan een ondoorzichtige plaat en twee lichtspots. De ene lamp straalt rood licht uit en de andere groen licht.
Geef op het werkblad aan welke kleuren er op de verschillende plaatsen op het scherm te zien zijn.

18 Een toneellamp geeft geel licht. Henriëtte vraagt zich af of dit zuiver licht is, net als het licht van een natriumlamp.
Hoe kan Henriëtte nagaan welke kleur(en) het licht van de toneellamp bevat?

19 Sommige soorten ratelslangen kunnen infrarode straling 'zien' (figuur 50). Dat doen ze met speciale organen die gevoelig zijn voor infrarood. Deze organen liggen in twee kleine kuiltjes bij de ogen.

a Een prooidier, zoals een muis, zendt meer infrarode straling uit dan de dingen in zijn omgeving.
Hoe komt dat?

b Wanneer heeft de ratelslang het meeste plezier van zijn 'infrarode ogen': overdag of 's nachts? Waarom?



▲ **figuur 50**
Een ratelslang ziet ook in het infrarood.

***20** Bij deze opgave heb je werkblad 8-13 nodig.
Als een tandarts je gebit onderzoekt, richt hij een sterke lamp op je mond. Er valt dan wel veel licht op de voorkant van je tanden, maar niet op de achterkant. Daarom gebruikt de tandarts een vlak spiegeltje om de achterkant van je tanden te belichten. Op het werkblad is getekend hoe het licht van de lamp op het spiegeltje valt.

a Teken de lichtbundel die door het spiegeltje teruggekaatst wordt.

b Kleur het deel van de tand dat via het spiegeltje belicht wordt.



Eclips: een fascinerend verschijnsel

Eclipsjagers worden ze genoemd, de mensen die bij elke zonsverduistering willen zijn. Ze reizen de hele wereld over voor dat magische moment waarin het zonlicht uitdooft en de corona verschijnt. “Dat is zo indrukwekkend,” zei een van hen, “dat kun je niet uitleggen, dat moet je meemaken.” En blijkbaar delen veel mensen dat gevoel. Een totale zonsverduistering trekt duizenden belangstellenden, elke keer weer.

Het achterna jagen van een eclips is een modern verschijnsel, mogelijk gemaakt door betaalbare vliegverbindingen. Vroeger maakte je hoogstens één keer in je leven een zonsverduistering mee. En geen mens die dat erg vond. Niemand zat erop te wachten dat de zon – de bron van licht en leven – opeens uitdoofde.

De antieke Griekse dichter Archilochus beschreef de paniek die uitbrak bij een zonsverduistering lang geleden. Hij schreef na de eclips op 6 april 647 v.C: “Zeus, de vader van de Olympische goden, veranderde de klaarlichte dag in de nacht en verborg het licht van de felle zon. Een vreselijke angst beving de hele mensheid.”

Gelukkig begrijpen we nu beter hoe een zonsverduistering ontstaat. Het verschijnsel is nu hoogstens goed voor een luchtig nieuwsbericht. Bijvoorbeeld over een emotionele eclipsjager die na afloop bijna niet uit zijn woorden kan komen: “Je trilt en kunt geen woord uitbrengen. Kippenvel. Tranen. In één woord: ontzagwekkend!”

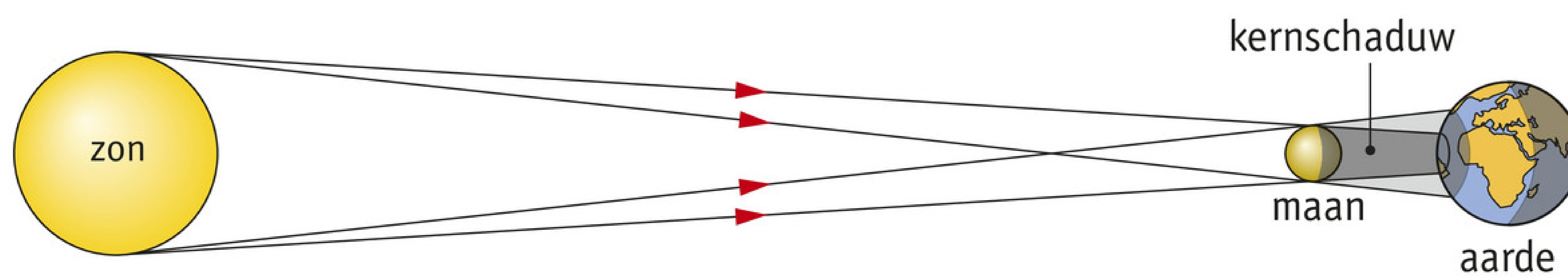
Natuurlijk reageert niet iedereen zo emotioneel. Maar toch zijn er maar weinig mensen op wie een totale zonsverduistering geen indruk maakt. Reden genoeg om eens na te gaan wat de feiten achter dit fascinerende natuurverschijnsel zijn. Vijf vragen en antwoorden.

> “Je trilt en kunt geen woord uitbrengen. Kippenvel. Tranen. In één woord: ontzagwekkend!”

1 Waardoor wordt een zonsverduistering veroorzaakt?
Een zonsverduistering ontstaat doordat de maan, vanuit de aarde bekeken, voor de zon langs beweegt. Het begint ermee dat de maan een hapje neemt uit de zonneschijf. Dat hapje groeit algauw tot een flinke hap. Op een gegeven moment staat de maan recht voor de zon. De zonsverduistering is dan totaal. Het wordt dan vreemd donker om je heen en je kunt de sterren aan de hemel zien staan.

Als je tijdens een totale verduistering richting de zon kijkt, zie je de corona: de extreem hete ‘atmosfeer’ van de zon die zich tot ver in de ruimte uitstrekt. Het zwakke licht van de corona verdwijnt normaal gesproken in het veel sterkere zonlicht. Maar bij een totale verduistering kun je de corona waarnemen als een lichtgevende krans rond de zon. Soms zijn er ook zonnevlammen te zien langs de omtrek van de donkere maanschijf.

2 Waarom is een zonsverduistering alleen in een smalle strook te zien?
Bij een zonsverduistering valt de schaduw van de maan op de aarde. Je hebt een gebied met kernschaduw en daaromheen een



groter gebied met halfschaduw. Alleen in het gebied met kernschaduw zie je de zon volledig verduisterd. En dat gebied is maar klein: in het gunstigste geval 250 km in doorsnee.

Het schaduwgebied beweegt met een grote snelheid over het aardoppervlak. Dat komt doordat de aarde om haar eigen as draait én doordat de maan in een baan rond de aarde beweegt. De snelle beweging van het schaduwgebied zorgt ervoor dat steeds nieuwe mensen de zonsverduistering kunnen zien.

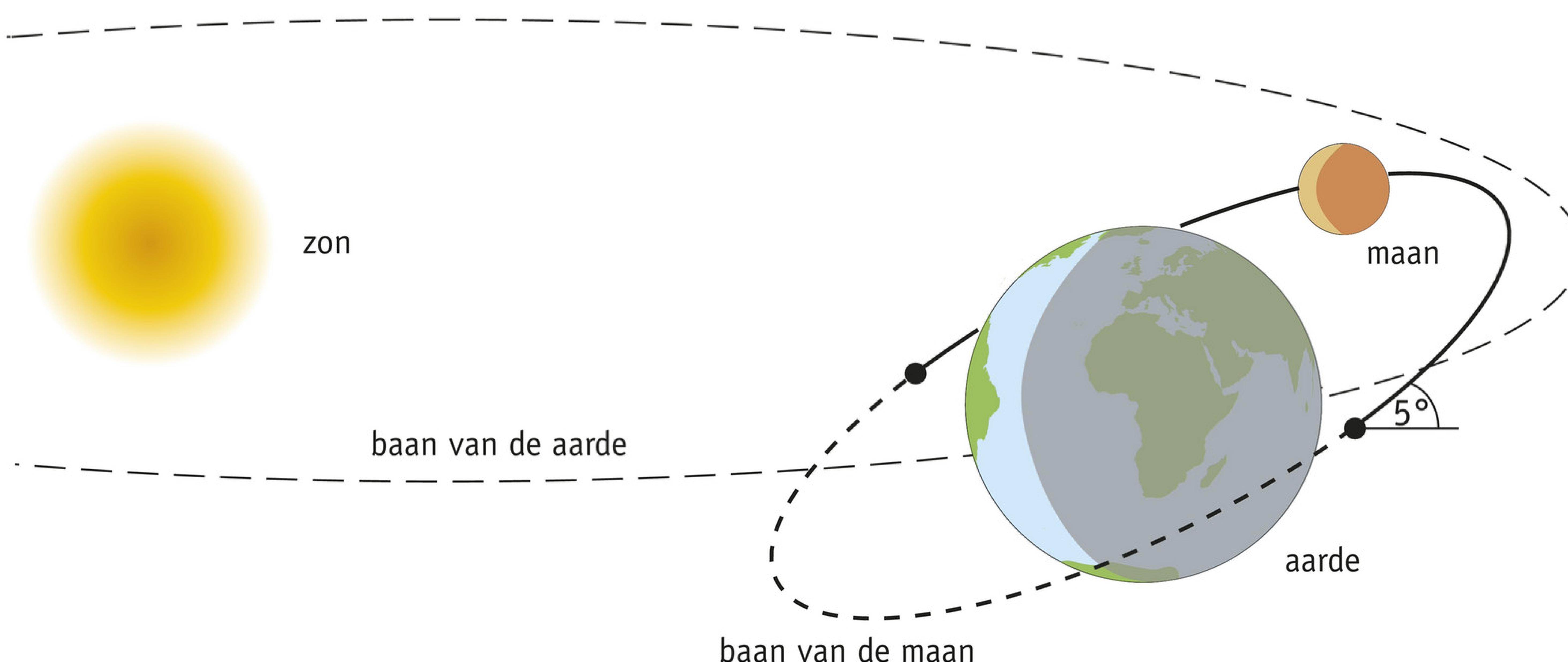
3 Hoe komt het dat er niet elke maand een zonsverduistering te zien is?
Dat heeft ermee te maken dat de baan van de maan (rond de aarde) schuin staat op het vlak van de aardbaan (rond de zon). Zoals je in de tekening hieronder kunt zien, maakt de baan van de maan een hoek van circa 5° met het vlak van de aardbaan. Daardoor bevindt de maan zich de helft van de tijd boven het vlak van de aardbaan, en de andere helft eronder.

Elke maand is de maan een poosje onzichtbaar, tijdens nieuwe maan. De maan staat dan tussen de aarde en de zon in. Meestal levert dat geen zonsverduistering op, omdat de maan zich net iets boven of net iets onder het vlak van de aardbaan bevindt. De schaduw gaat dan over de aarde heen of er onderdoor. Alleen als de maan net op dat moment het vlak van de aardbaan passeert, kan de maanschaduw het aardoppervlak bereiken. Zonsverduisteringen zijn daardoor betrekkelijk zeldzaam.

4 Hoe komt het dat er verschillende soorten zonsverduisteringen zijn?
Er zijn totale, gedeeltelijke, ringvormige en hybride zonsverduisteringen. Bij een totale zonsverduistering bedekt de maan de zon helemaal. Bij een ringvormige verduistering is rond de maan nog de buitenste ring van de zonneschijf te zien. Een hybride zonsverduistering ontwikkelt zich van een ringvormige naar een totale verduistering en eindigt vaak weer als een ringvormige.

Deze verschillen ontstaan doordat de zon en de maan vanaf de aarde bekeken niet altijd even groot zijn. De afstand tussen de maan en de aarde varieert bijvoorbeeld van 363 000 km tot 406 000 km. Op het meest nabije punt lijkt de maan wel 12% groter dan op het verste punt. Bij de zon zijn de verschillen minder groot, maar nog altijd wel merkbaar. Hierdoor kan de maan de zon de ene keer wel compleet bedekken, maar de andere keer niet.

5 Hoe kun je naar een zonsverduistering kijken zonder je ogen te beschadigen?
Het mengsel van licht en infrarode en ultraviolette straling dat de zon uitstraalt, kan je ogen gemakkelijk beschadigen. Alleen bij een totale zonsverduistering kun je veilig richting de zon kijken. In alle andere



gevallen moet je een beschermmiddel gebruiken.
Laat je niet wijsmaken dat je de eclips wel door een zonnebril of een cd kunt bekijken. Koop een goede eclipsbril (of leen een lasbril) en zet die op voordat je je blik op de zon richt. Zo'n bril absorbeert infrarode en ultraviolette straling en verzwakt fel licht: precies wat je nodig hebt om je ogen heel te houden voor de volgende zonsverduistering.

datum	soort	duur totale verduistering	locaties
29 april 2014	ringvormig	-	Zuid-India, Australia, Antarctica
23 oktober 2014	gedeeltelijk	-	Stille Oceaan, Noord-Amerika
20 maart 2015	totaal	2 min 47 s	IJsland, Europa, Noord-Afrika, Noord-Azië
13 september 2015	gedeeltelijk	-	Zuid-Afrika, Indië, Antarctica
9 maart 2016	totaal	4 min 9 s	Oost-Azië, Australië, Stille Oceaan
1 september 2016	ringvormig	3 min 6 s	Zuid-Afrika, Indische Oceaan
26 februari 2017	ringvormig	0 min 44 s	Zuid-Amerika, Atlantische Oceaan, Afrika, Antarctica
21 augustus 2017	totaal	2 min 40 s	Noord-Amerika, Zuid-Amerika



Opgaven

1 Bij een gedeeltelijke zonsverduistering wordt de zon nergens op aarde volledig verduisterd. Je ziet dat de maan een flinke hap uit de zon neemt, maar die hap groeit niet uit tot een totale of ringvormige verduistering. Leg uit hoe zo'n gedeeltelijke zonsverduistering ontstaat. Gebruik de woorden 'kernschaduw' en 'halfschaduw'.

***2** Zoek op internet naar informatie over de eerstvolgende totale zonsverduistering.
- **a** Hoe groot is de afstand die de kernschaduw over het aardoppervlak aflegt?
- **b** Hoe groot is de snelheid waarmee het schaduwgebied over de aarde beweegt?
- **c** Hoe breed is de baan waarbinnen een totale zonsverduistering te zien zal zijn?

3 Voor deze opdracht heb je werkblad 8-14 nodig.
Op het werkblad is een *maansverduistering* getekend (niet op schaal).
- **a** Vul op de juiste plaats de namen in: zon, maan en aarde.
- **b** Teken de kernschaduw en de bijschaduw van de aarde.
- **c** Is het mogelijk dat je op de ene plaats op aarde een volledige maansverduistering ziet en op een andere plaats een gedeeltelijke? Leg uit.
- **d** Stel je voor dat er op dit moment mensen op de maan zijn. Wat zullen zij tijdens een maansverduistering waarnemen?



Vaardig-heden

Onderzoek doen

Bij het vak natuur- en scheikunde leer je om onderzoek te doen. Je werkt met practicumapparatuur, voert metingen uit, tekent grafieken en maakt berekeningen. Dit deel van het boek gaat over de vaardigheden die je daarvoor nodig hebt.

1 Onderzoek doen

Bij het vak natuur- en scheikunde leer je om zelf onderzoek uit te voeren. Bij het doen van onderzoek ga je stap voor stap te werk.

- **Stap 1: Bedenk een onderzoeksvraag**
  Meestal staat de onderzoeksvraag al in het boek vermeld. Dan ben je natuurlijk snel klaar. Soms mag je zelf een onderzoeksvraag bedenken. Wees daarbij niet te gauw tevreden. Je moet wel een idee hebben hoe je jouw vraag kunt beantwoorden.

- **Stap 2: Maak een werkplan**
  In je werkplan schrijf je op:
  – welke materialen en apparatuur je nodig hebt;
  – welke opstelling je gaat bouwen (maak een tekening);
  – welke grootheden je gaat meten;
  – (eventueel) welke formules je gaat gebruiken.

In figuur 1 zie je een voorbeeld van zo'n werkplan.

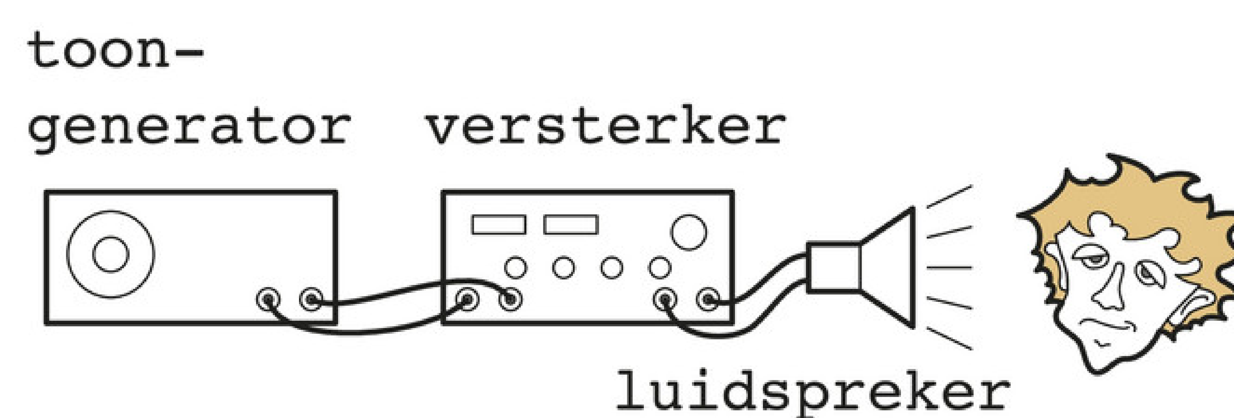
Werkplan van: Eileen en Jamila

Onderzoeksvraag: Wat is de hoogste toon die we kunnen horen?

1 Materialen en apparatuur

* Toongenerator
* Versterker
* Hoge-tonen-luidspreker

2 Opstelling



3 Metingen

Jamila maakt met de toongenerator een steeds hogere toon. Eileen zegt 'stop' als ze geen geluid meer hoort. Jamila kijkt dan op de toongenerator hoe hoog de toon is. Dit doen we een paar keer om te zien of er steeds hetzelfde uitkomt. Daarna gaan we de proef nog eens doen, maar nu luistert Jamila en draait Eileen aan de toongenerator.

▶ **figuur 1**
Zo ziet een werkplan eruit.

- **Stap 3: Uitvoeren en uitwerken**
  Je gaat nu metingen uitvoeren en uitwerken.
  Zie ook de vaardigheden 5 tot en met 11.

- **Stap 4: Conclusies trekken**
  Als alles goed is gegaan, kun je nu conclusies trekken. Probeer een antwoord te geven op je onderzoeksvraag. Vraag je ook af wat er in je onderzoek beter had gekund.

- **Stap 5: Een verslag maken**
  Tot slot maak je van je onderzoek een verslag. Zie vaardigheid 14.

2 Werken met grootheden en eenheden



▲ **figuur 2**
Je meet de grootheid lengte in de eenheid meter.

Bij proeven en onderzoeksopdrachten doe je vaak metingen. Je gebruikt een meetinstrument om een getalwaarde te vinden voor een eigenschap, zoals de lengte of de temperatuur.

Grootheden

Een **grootheid** is een eigenschap die je kunt meten met een meetinstrument. Voorbeelden van grootheden zijn lengte, massa en temperatuur. Je kunt deze grootheden meten met een meetlat (voor de lengte), een weegschaal (voor de massa) en een thermometer (voor de temperatuur).

Eenheden

Om een grootheid te kunnen meten, moet je eerst een maat met elkaar afspreken. Zo'n maat noem je een **eenheid**. Je meet je lengte in meters, je massa in kilogrammen en je lichaamstemperatuur in graden Celsius.

Voor elke grootheid bestaat een internationaal erkende **SI-eenheid**, zoals de meter voor de lengte, de seconde voor de tijd en de kelvin voor de temperatuur. In het dagelijks leven worden daarnaast ook andere eenheden gebruikt. Mensen doen dat, omdat ze zo'n eenheid handiger vinden of omdat ze het nu eenmaal zo gewend zijn.

Meetresultaten noteren

- Ga voor de meting na in welke eenheid je meetinstrument de uitkomst weergeeft. Vaak is dat meteen duidelijk, maar soms moet je eerst even goed kijken.
- Noteer een meetresultaat altijd meteen nadat je de meting hebt gedaan.
- Doe je maar één meting? Noteer het meetresultaat dan in de vorm: [grootheid] = [getal] [eenheid].
- Bijvoorbeeld: massa = 237 gram of: m = 237 g.
  Doe je een serie metingen? Noteer je meetresultaten dan in een tabel. Zet boven elke kolom met getallen:
  – welke grootheid je hebt gemeten;
  – welke eenheid je hebt gebruikt (tussen haakjes).

In tabel 1 vind je een overzicht van de grootheden en eenheden die je in dit boek tegenkomt. In de derde en vierde kolom staan de SI-eenheden. Andere veel gebruikte eenheden staan in de laatste twee kolommen.

Soms is het nodig om een gegeven om te rekenen van de ene eenheid naar de andere (bijvoorbeeld van km/h naar m/s). Zie daarover vaardigheid 4.

▼ **tabel 1** grootheden en eenheden

grootheid	afkorting	SI-eenheid	afkorting	andere eenheid	afkorting
dichtheid	ρ	kilogram per kubieke meter	kg/m^3	gram per kubieke centimeter	g/cm^3
frequentie	f	hertz	Hz	-	-
lengte, afstand	l	meter	m	-	-
luchtdruk, gasdruk	p	pascal	Pa	bar	-
massa	m	kilogram	kg	-	-
snelheid	v	meter per seconde	m/s	kilometer per uur	km/h
spanning	U	volt	V	-	-
stroomsterkte	I	ampère	A	-	-
temperatuur	T	kelvin	K	graden Celsius	°C
tijd	t	seconde	s	minuut, uur	min, h
vermogen	P	watt	W	-	-
volume	V	kubieke meter	m^3	liter	L

3 Werken met voorvoegsels

Soms is een eenheid onhandig groot of juist onhandig klein. Daarom is er een manier bedacht om eenheden 'op maat' te kunnen maken.

De **voorvoegsels** in tabel 2 kun je in principe voor elke eenheid zetten. Zo kun je afgeleide eenheden maken die 10, 100 of 1000 keer zo groot óf zo klein zijn als de originele eenheid. Op die manier kun je de grootte van de eenheid aanpassen aan de situatie: kilogrammen voor de massa van je lichaam, milligrammen voor de werkzame stof in een tablet.

In de praktijk worden sommige combinaties veel gebruikt en andere (bijna) nooit. De decibel (dB) is bijvoorbeeld een populaire eenheid, de decivolt (dV) en de deciwatt (dW) kom je nooit tegen.



▶ **figuur 3**
een pijnstiller met 500 mg werkzame stof per tablet

Een eenheid kiezen

- Kijk bij proeven welke eenheid op het meetinstrument vermeld staat. Meestal is het het handigst om die eenheid te gebruiken.
- Kies een kleinere eenheid, als je anders op een erg klein getal (< 0,1) uitkomt. Noteer de uitkomst van een volumemeting bijvoorbeeld als 25 mL en niet als 0,025 L.
- Gebruik een grotere eenheid, als je anders op een erg groot getal (> 1000) uitkomt. Noteer de uitkomst van een berekening bijvoorbeeld als 340 km en niet als 340 000 m.

Soms is het nodig om een gegeven om te rekenen van de ene eenheid naar de andere (bijvoorbeeld van mA naar A). Zie daarover vaardigheid 4.

▼ **tabel 2** voorvoegsels en hun betekenis

voorvoegsel	afkorting	betekenis	voorbeeld
kilo	k	1000	1 kg = 1000 g
hecto	h	100	1 hPa = 100 Pa
deca	da	10	1 dam = 10 m
deci	d	1/10 = 0,1	1 dL = 0,1 L
centi	c	1/100 = 0,01	1 cm = 0,01 m
milli	m	1/1000 = 0,001	1 mA = 0,001 A

4 Eenheden omrekenen

Vaak is het nodig om een eenheid om te rekenen van de ene eenheid naar de andere. Dat doe je bijvoorbeeld als je de snelheid in m/s hebt uitgerekend en iemand je vraagt wat dat in km/h is.

Bij het omrekenen van eenheden ga je als volgt te werk:



▲ **figuur 4**
Zoals je op deze maatkan kunt zien, is 1 L gelijk aan 1000 mL.

- **Stap 1: Noteer een gelijkheid met links de ene eenheid en rechts de andere.**
- **Stap 2: Ga na met welk getal je moet vermenigvuldigen (→) of delen (←).**
- **Stap 3: Voer de juiste vermenigvuldiging of deling uit en noteer het resultaat.**

Voorbeeldopgave 1
In een maatcilinder zit 0,125 L water. Hoeveel milliliter is dat?

Stap 1: Bedenk (of zoek op) dat 1 L gelijk is aan 1000 mL; zie figuur 4.
Stap 2: Je gaat van liter naar milliliter, dus je moet vermenigvuldigen met 1000.
Stap 3: Uitrekenen: Het volume van het water = 0,125 × 1000 = 125 mL

Voorbeeldopgave 2
Een stroommeter geeft 82 mA. Hoeveel ampère is dat?

Stap 1: Bedenk (of zoek op) dat 1 A gelijk is aan 1000 mA.
Stap 2: Je gaat van mA naar A, dus je moet delen door 1000.
Stap 3: Uitrekenen: De stroomsterkte = 82 : 1000 = 0,082 A

Voorbeeldopgave 3
Een fietser rijdt met een snelheid van 5,2 m/s. Hoeveel km/h is dat?

Stap 1: Bedenk (of zoek op) dat 10 m/s gelijk is aan 36 km/h.
Stap 2: Je gaat van m/s naar km/h, dus vermenigvuldig je met 3,6.
Stap 3: Uitrekenen: De snelheid = 5,2 × 3,6 ≈ 19 km/h

5 Meetinstrumenten aflezen

Als je een meting doet, lees je een meetwaarde – een getal – af op een meetinstrument. Bij het ene meetinstrument is dat gemakkelijker dan bij het andere.

Een **digitaal meetinstrument**, zoals een stopwatch of een digitale koortsthermometer, werkt elektronisch. De meetwaarde wordt in cijfers op een scherm weergegeven. Dit soort meters maakt het je erg makkelijk: je hoeft alleen de cijfers te noteren.

Een **analoog meetinstrument**, zoals een maatcilinder of een analoge spanningsmeter, heeft een schaalverdeling. Je leest een maatcilinder af door te kijken bij welk streepje de vloeistofspiegel zich bevindt. Bij een analoge spanningsmeter kijk je bij welk streepje de wijzer stilstaat.

Bij deze meetinstrumenten kun je niet meteen de meetwaarde aflezen. Eerst moet je weten hoeveel elk streepje 'waard' is. Daar kun je als volgt achterkomen:

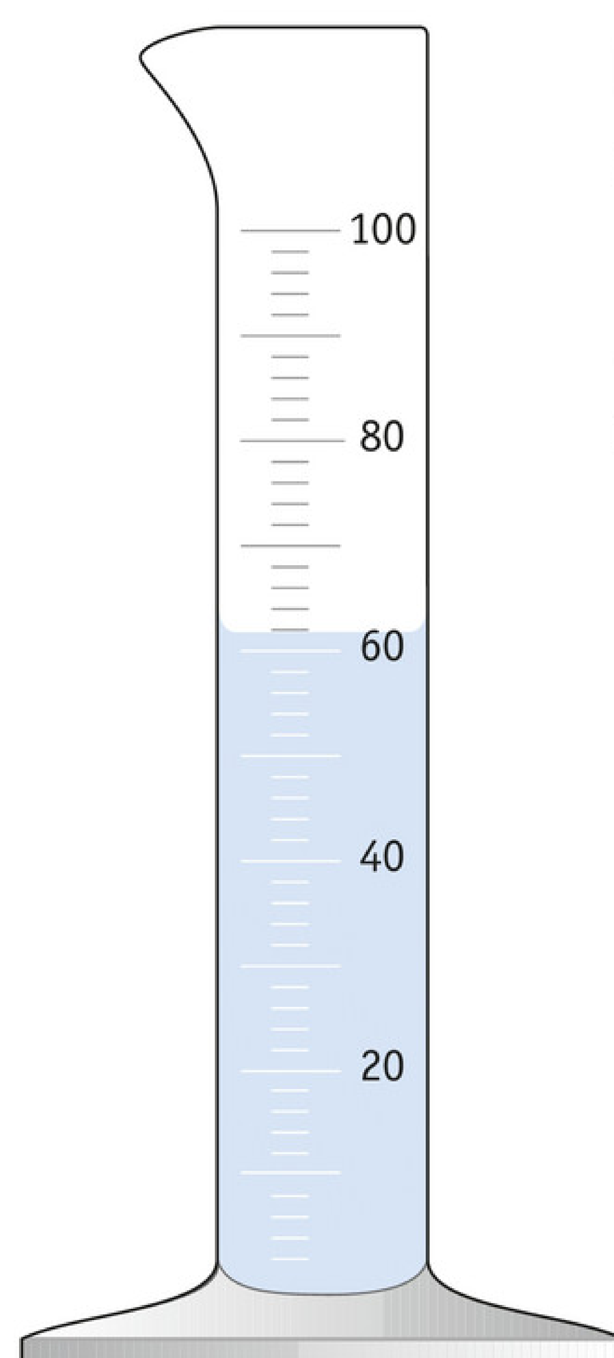
- **Stap 1: Ga van de 0 naar het eerste streepje met een getal.**
  Bij de maatcilinder in figuur 5 is dat het streepje waar 20 bij staat.

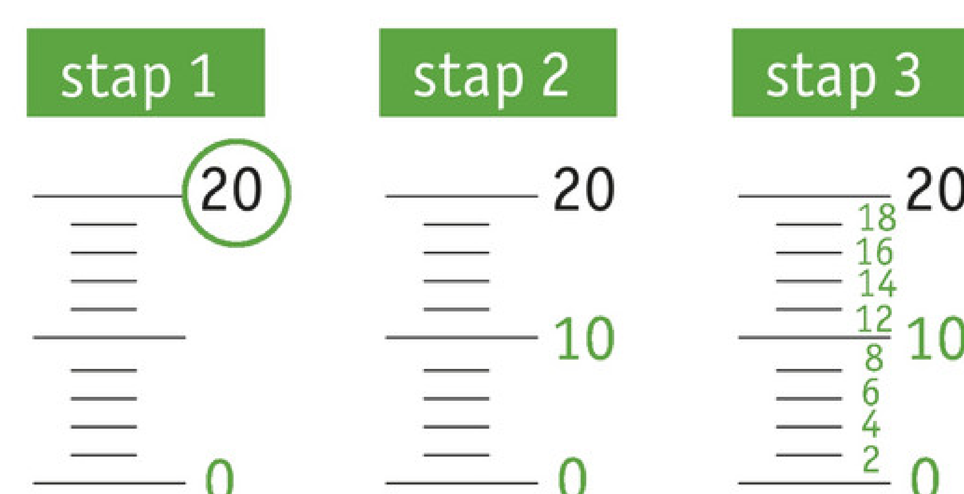
- **Stap 2: Ga naar het streepje halverwege de 0 en het eerste getal.**
  Bedenk welk getal bij dit streepje hoort. Bij de maatcilinder is dat 10.

- **Stap 3: Bedenk nu wat elk streepje van de schaalverdeling waard is.**
  Tel van 0 naar het eerste getal om te controleren of alles klopt.
  Bij de maatcilinder gaat het goed als je in stappen van 2 mL telt.

Elk streepje van de maatcilinder is dus 2 mL waard.
Ga zelf na dat er 62 mL water in de maatcilinder zit.

Bij andere meetinstrumenten met een schaalverdeling ga je op dezelfde manier te werk.





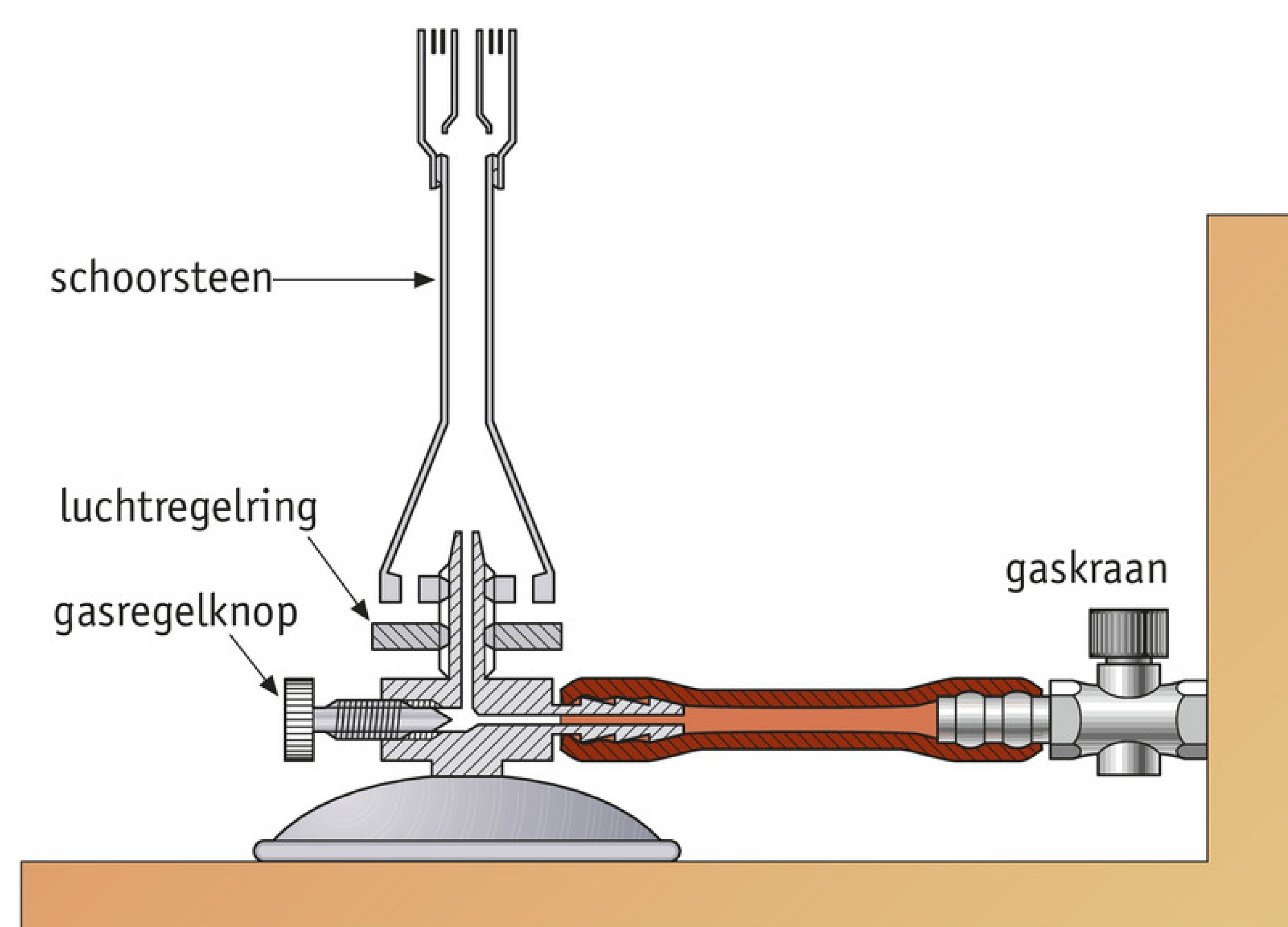
▶ **figuur 5**
Zo lees je een maatcilinder af.

6 Werken met een brander

Bij het vak natuur- en scheikunde gebruik je af en toe een brander. Hieronder staat hoe je ermee moet werken.

Veiligheid
- Houd je aan de veiligheidsregels die je docent met je heeft besproken.

Vooraf
- Controleer of de gasregelknop en de luchtregelring van de brander dicht zijn (figuur 6). Zo niet, draai ze dan dicht.



▶ **figuur 6**
de onderdelen van een brander

Aansteken
- Draai de gaskraan op je tafel open.
- Houd een brandende lucifer boven de brander.
- Draai de gasregelknop open.
- De brander brandt nu met een goed zichtbare, gele vlam.

Verwarmen
- Draai de luchtregelring open.
- De brander brandt nu met een slecht zichtbare, blauwe vlam. Deze blauwe vlam is veel heter dan de gele vlam. Om iets te verwarmen, gebruik je meestal een zacht ruisende, blauwe vlam (en nooit een gele vlam).

Proef onderbreken
- Laat de brander niet alleen als hij met een blauwe vlam brandt.
- Draai altijd eerst de luchtregelring dicht.
- De brander brandt dan met een goed zichtbare gele vlam.

Uitdoen
- Draai de luchtregelring dicht.
- Draai de gaskraan op je tafel dicht.
- Draai de gasregelknop dicht.

7 Werken met een spanningsmeter

Bij proeven met elektriciteit wordt vaak een spanningsmeter gebruikt. Je moet zo'n meter op de juiste manier aansluiten.

Aansluiten

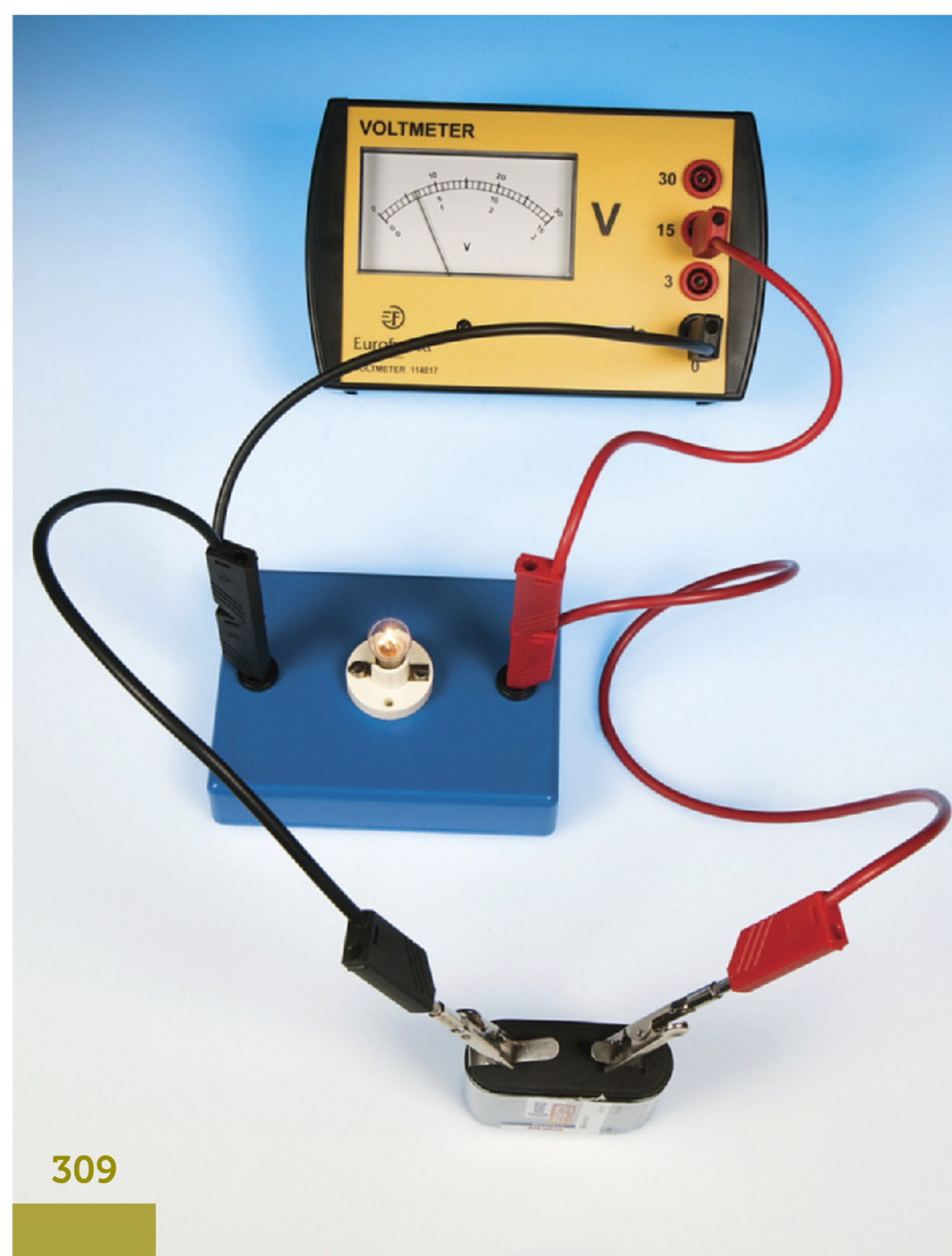
- Om de spanning 'over' een lampje te meten, schakel je de spanningsmeter parallel met het lampje. Zie figuur 7.
- Verbind de plus-pool van de batterij of voeding met de plus-aansluiting op de spanningsmeter. De wijzer beweegt dan de goede kant op. Als het toch fout gaat, sluit dan de twee snoeren 'andersom' op de meter aan.

Meetbereiken

- Veel spanningsmeters hebben verschillende meetbereiken. De meter in figuur 7 heeft bijvoorbeeld drie meetbereiken: 0–3 volt, 0–15 volt en 0–30 volt. Als je het meetbereik van 0–3 volt gebruikt, kun je spanningen meten tot maximaal 3 V.
- Voer eerst een 'testmeting' uit met het grootste meetbereik. Zo voorkom je dat de meter kapotgaat. Je ziet dan vanzelf of je een kleiner meetbereik kunt gebruiken.
- Doe de meting daarna met het kleinst mogelijke meetbereik. Dan slaat de wijzer verder uit en kun je nauwkeuriger aflezen wat hij aanwijst.

Aflezen

- Kijk altijd zo recht mogelijk op de meter en doe je best om nauwkeurig af te lezen.



▶ **figuur 7**
Zo sluit je een spanningsmeter aan.

8 Werken met een stroommeter

Bij proeven met elektriciteit wordt vaak een stroommeter gebruikt. Je moet zo'n meter op de juiste manier aansluiten.

Aansluiten

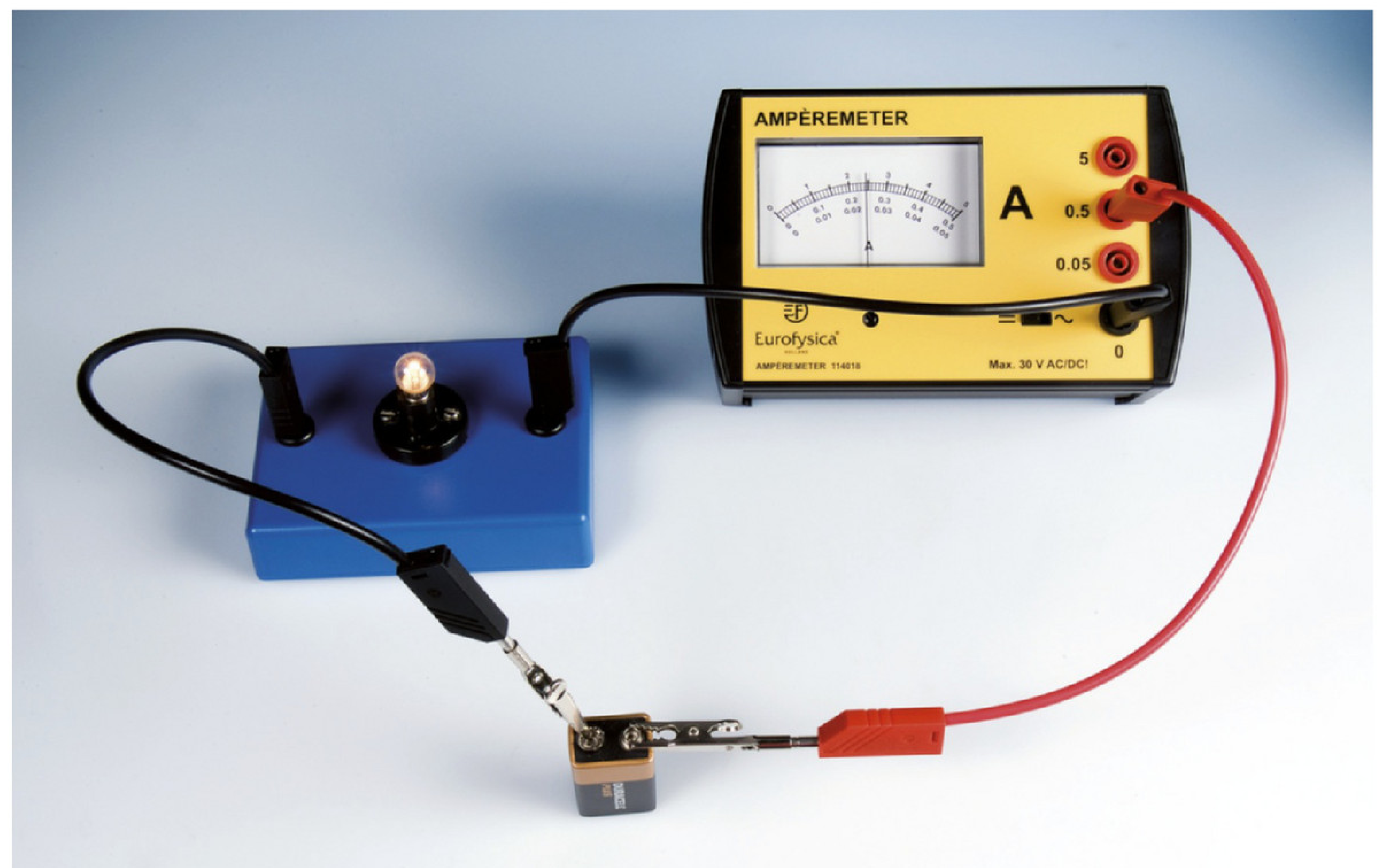
- Om de stroomsterkte door een lampje te meten, schakel je de stroommeter in serie met het lampje. De stroom door het lampje loopt dan ook door de meter.
- Verbind de plus-pool van de batterij of voeding met de plus-aansluiting op de spanningsmeter. De wijzer beweegt dan de goede kant op. Als het toch fout gaat, sluit dan de twee snoeren 'andersom' op de meter aan.

Meetbereiken

- Meestal kun je op de stroommeter verschillende meetbereiken kiezen. De meter in figuur 8 heeft er drie: 0–5 A, 0–500 mA en 0–50 mA. Als je het meetbereik van 0–500 mA gebruikt, kun je stromen meten tot maximaal 500 mA.
- Voer eerst een 'testmeting' uit met het grootste meetbereik. Zo voorkom je dat de meter kapotgaat. Je ziet dan vanzelf of je een kleiner meetbereik kunt gebruiken.
- Doe de meting daarna zo mogelijk met een kleiner meetbereik. Als je ziet dat de stroomsterkte 30 à 40 mA is, schakel je bijvoorbeeld over op 0-50 mA. Dan slaat de wijzer flink ver uit en kun je nauwkeurig aflezen wat hij aanwijst.

Aflezen

- Kijk altijd zo recht mogelijk op de meter en doe je best om nauwkeurig af te lezen.



▶ **figuur 8**
Zo sluit je een stroommeter aan.

9 Werken met een multimeter

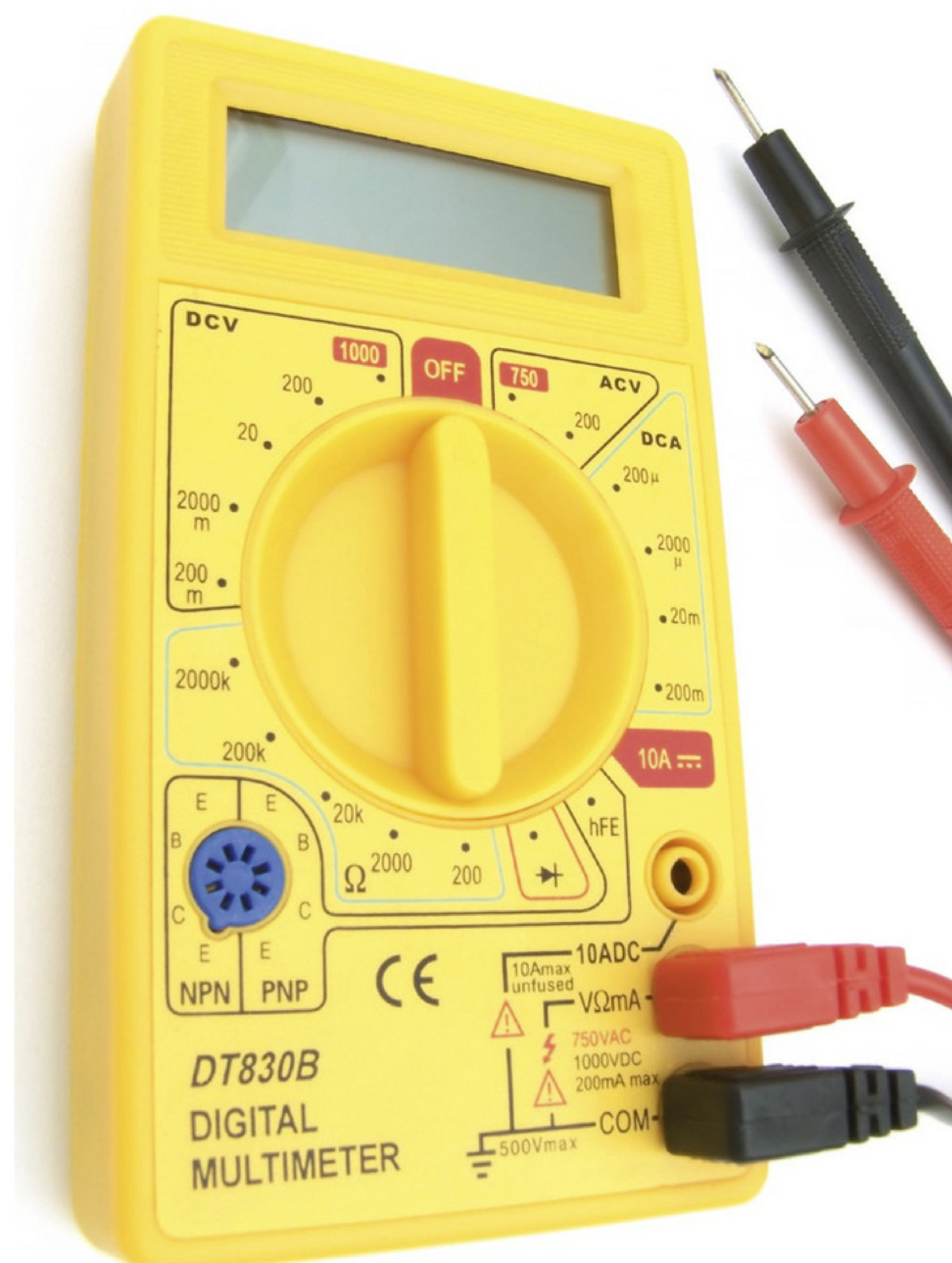
Bij proeven met elektriciteit kun je een multimeter gebruiken in plaats van een spanningsmeter of een stroommeter. Met een draaiknop op de meter kun je eenvoudig de te meten grootheid en het gewenste meetbereik kiezen (figuur 9).

De spanning meten

- Zet de draaiknop in het gebied DCV of V= en kies het hoogste meetbereik.
- Sluit de multimeter aan als een spanningsmeter: parallel met het lampje.
- Voer een ‘testmeting’ uit. Herhaal dit zo nodig met een kleiner meetbereik.
- Voer ten slotte de ‘echte’ meting uit met het kleinst mogelijke meetbereik.

De stroomsterkte meten

- Zet de draaiknop in het gebied DCA of A= en kies het hoogste meetbereik.
- Sluit de multimeter aan als een stroommeter: in serie met het lampje.
- Voer een ‘testmeting’ uit. Herhaal dit zo nodig met een kleiner meetbereik.
- Voer ten slotte de ‘echte’ meting uit met het kleinst mogelijke meetbereik.

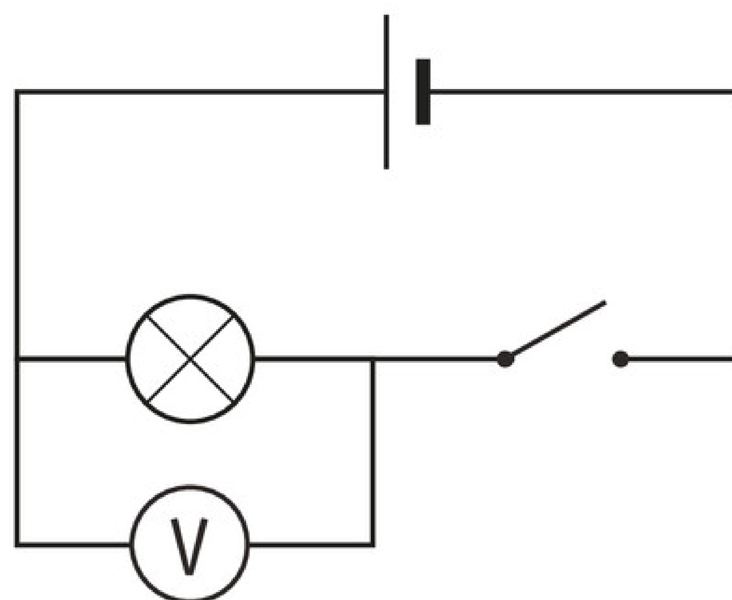


▶ **figuur 9**
een multimeter

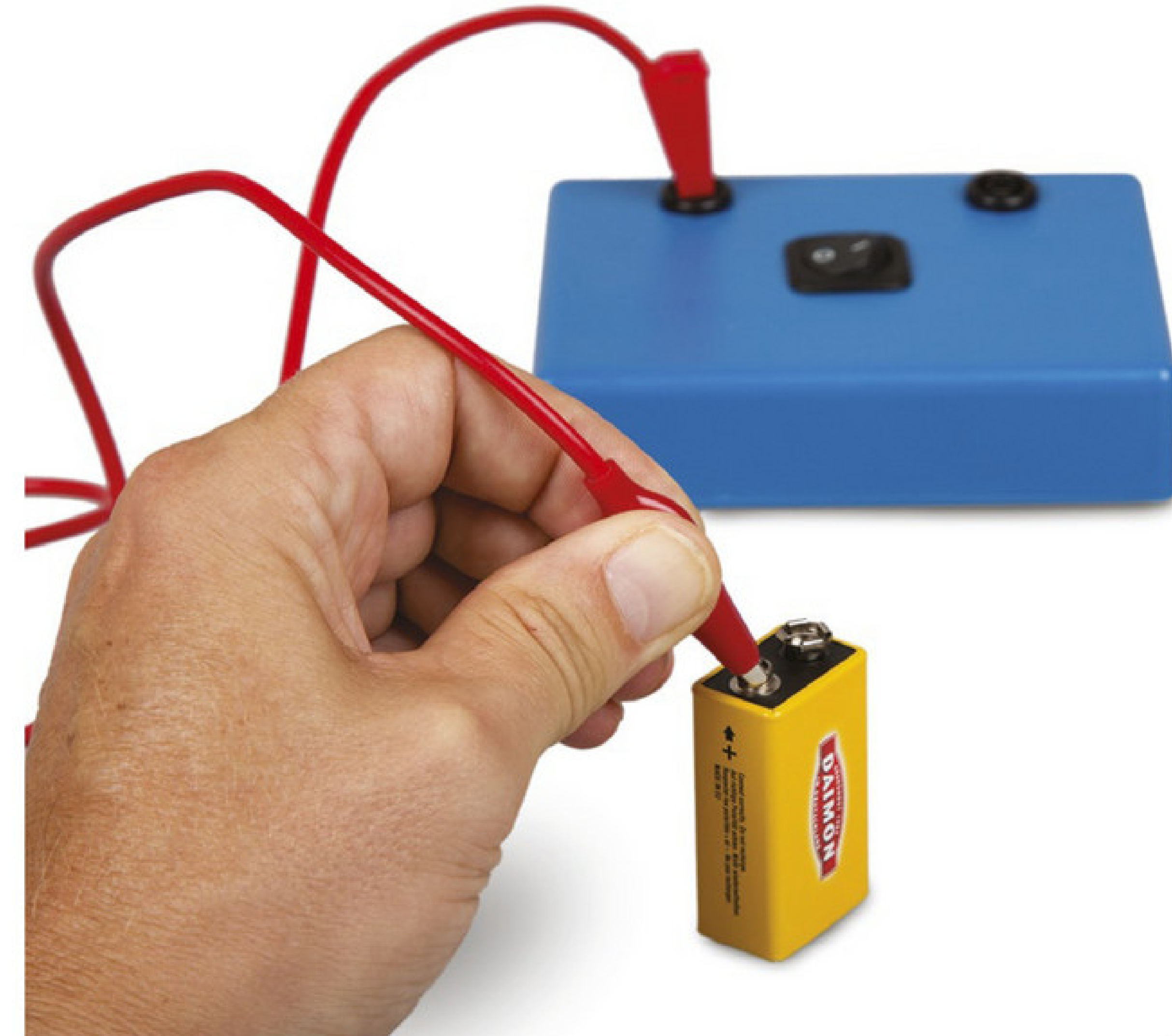
10 Schakelingen bouwen

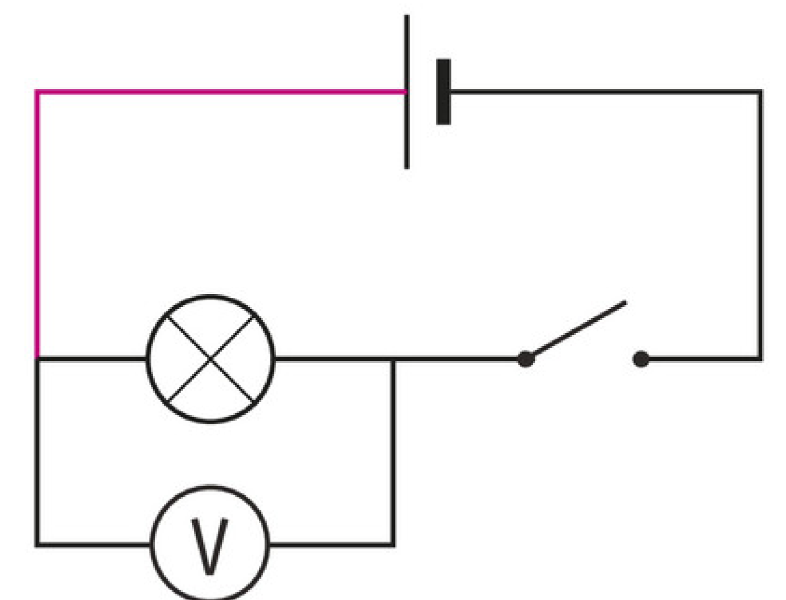
Bij sommige proeven bouw je een schakeling aan de hand van een schakelschema. Je kunt zo'n schakeling het beste stap-voor-stap opbouwen. In figuur 10 zie je hoe dat werkt.



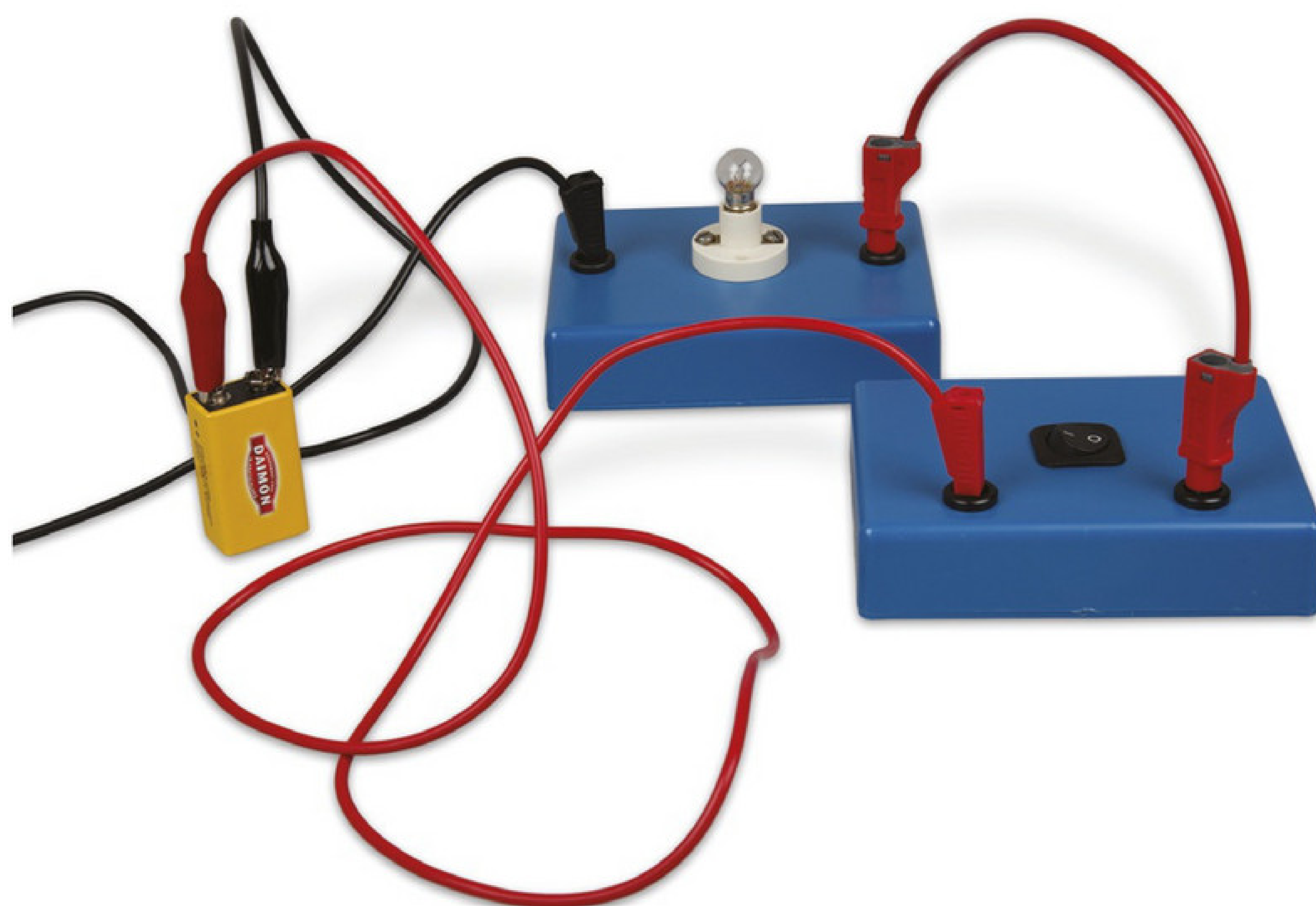


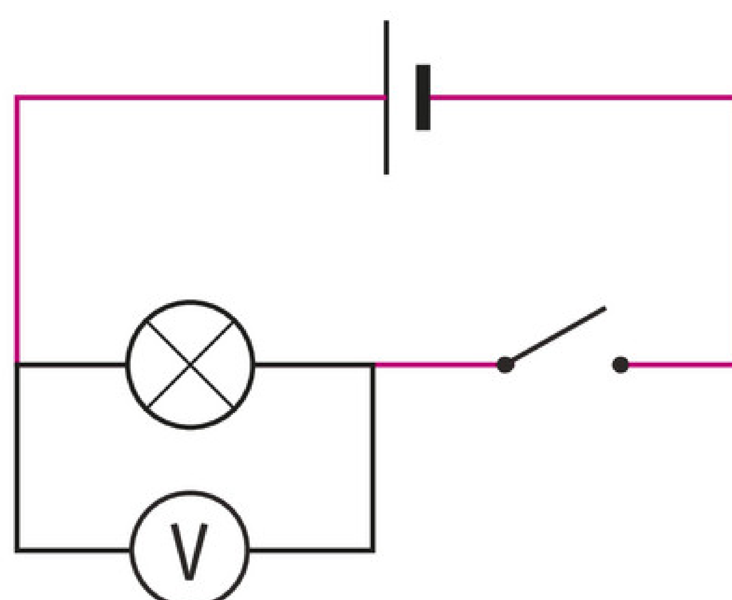
1 Verzamel de verschillende onderdelen.





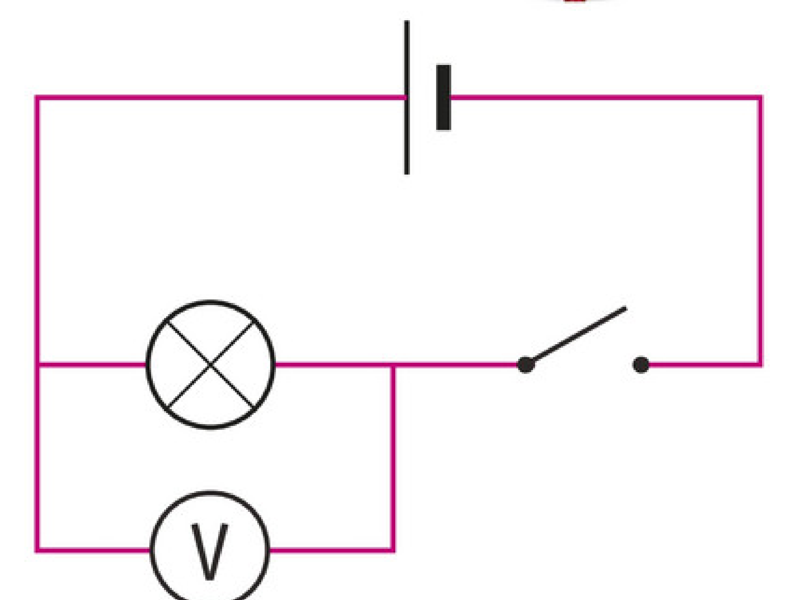
2 Begin met een rood snoer aan de plus-kant.





3 Sluit het lampje en de schakelaar aan: in serie.





4 Sluit de spanningsmeter aan: parallel met het lampje.

▲ **figuur 10**
een schakeling bouwen

11 Werken met een oscilloscoop

Met een oscilloscoop kun je de frequentie van een toon bepalen. Daarvoor moet je een microfoon aansluiten op de ingang van de oscilloscoop. Op het scherm verschijnt dan een afbeelding van de geluidstrilling.

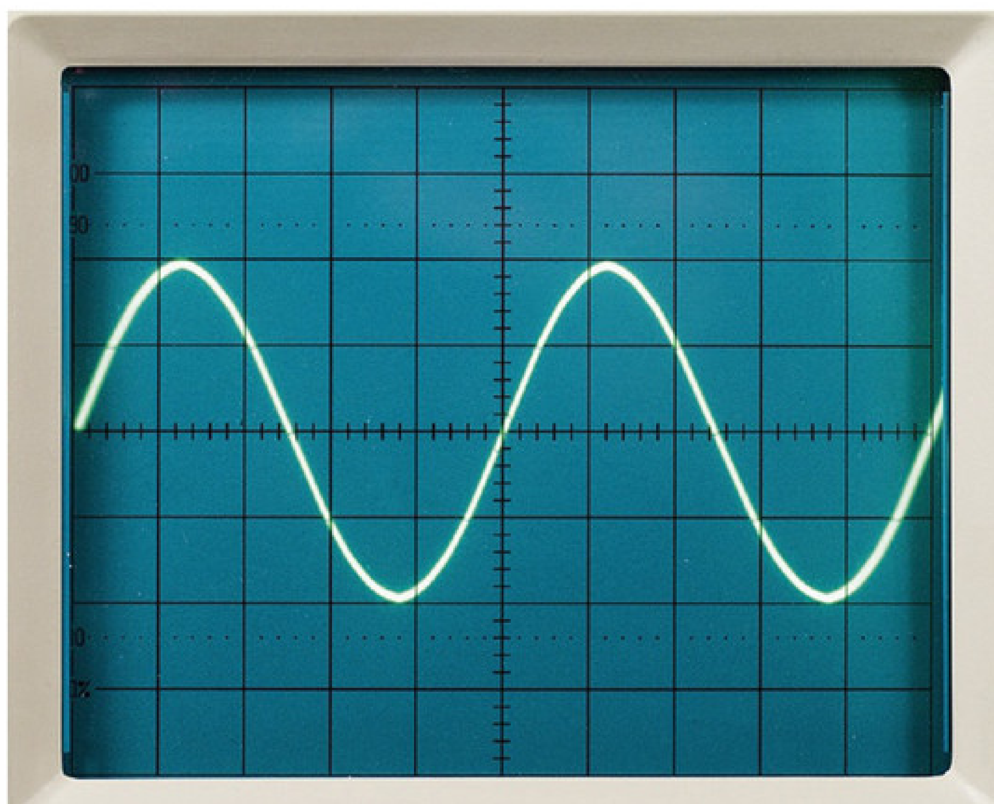


▲ **figuur 11**
de tijdbasis van een oscilloscoop

De tijdbasis
Het scherm van de oscilloscoop is verdeeld in vakjes. Langs de horizontale as is de tijd uitgezet. Als één vakje 2 milliseconden breed is, zeg je dat de tijdbasis op 2 milliseconden per onderverdeling (2 ms/div) staat ingesteld. Je kunt de tijdbasis instellen met een draaiknop op de oscilloscoop (figuur 11).

De tijdbasis instellen

- Soms zijn er te veel trillingen op het scherm te zien. Stel de tijdbasis dan in op een kleinere waarde.
- Soms is er maar een klein stukje van één trilling te zien. Stel de tijdbasis dan in op een grotere waarde.
- De tijdbasis is goed ingesteld als er enkele trillingen op het scherm te zien zijn. Je kunt dan goed op het scherm aflezen hoeveel tijd voor één trilling nodig is (figuur 12).



▲ **figuur 12**
het oscilloscoopbeeld van een trilling

Voorbeeldopgave
De tijdbasis van de oscilloscoop in figuur 12 is ingesteld op 2 ms/div (2 milliseconden per onderverdeling).
Bereken hoe groot de frequentie van de afgebeelde trilling is.

Je ziet dat één volledige trilling vijf vakjes beslaat.
$T = 5 \times 2 \text{ ms} = 10 \text{ ms} = 0{,}01 \text{ s}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}01} = 100 \text{ Hz}$$

12 Werken met formules

Bij het vak natuur- en scheikunde moet je af en toe berekeningen maken. Je moet daarbij duidelijk laten zien hoe je aan het antwoord komt.

Werk een berekening daarom als volgt uit:

- **Stap 1: Schrijf de gegevens volledig op.**
- **Stap 2: Noteer wat gevraagd wordt.**
- **Stap 3: Noteer de formule in de juiste vorm.**

Je schrijft de formule voor het vermogen P:

– als $P = U \cdot I$ om het vermogen P te berekenen.

– als $U = \frac{P}{I}$ om de spanning U te berekenen.

– als $I = \frac{P}{U}$ om de stroomsterkte I te berekenen.

- **Stap 4: Vul de gegevens in.**
- **Stap 5: Noteer het antwoord: een getal, gevolgd door een eenheid.**

Rond de uitkomst af, als je antwoord anders te veel cijfers krijgt. Een bruikbare vuistregel is dat je antwoord evenveel of maximaal één cijfer meer heeft als het gegeven met het kleinst aantal cijfers. Dat je hebt afgerond, geef je aan door het teken ≈ te gebruiken in plaats van =.

Voorbeeldopgave
Een metalen cilinder heeft een massa van 196 g en een volume van 22 cm^3.
Bereken de dichtheid van de stof waarvan het cilindertje gemaakt is.
Om welke stof zou het kunnen gaan?

gegevens $m = 196$ g
$V = 22$ cm^3

gevraagd $\rho = ?$

uitwerking $\rho = \frac{m}{V} = \frac{196}{22} \approx 8{,}9$ g/cm^3

Het cilindertje zou van koper gemaakt kunnen zijn. Zie tabel 2 in paragraaf 4 van hoofdstuk 2.

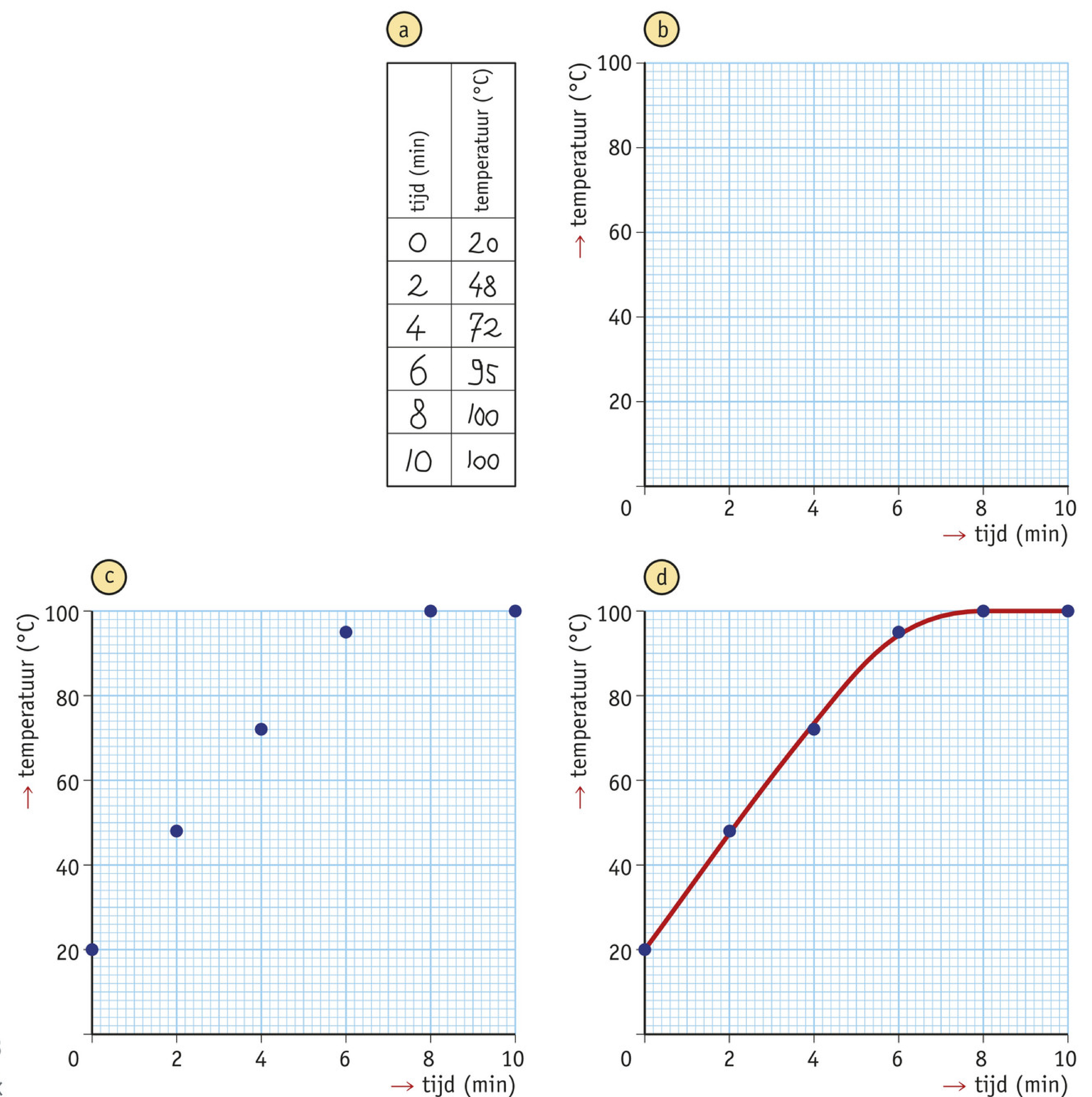
13 Werken met tabellen en grafieken

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden.
Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag:
Wat is het verband tussen de temperatuur van water in een bekerglas en de tijd dat het water wordt verwarmd?

Deze vraag gaat over het verband tussen de tijd en de temperatuur.
Om deze vraag te beantwoorden, voer je een serie metingen uit. Je verwarmt het water met een brander. Om de minuut lees je de temperatuur van het water af op een thermometer. De meetresultaten noteer je in een tabel (zie figuur 13a). Na afloop geef je de meetresultaten weer in een grafiek.

Zo'n grafiek maak je als volgt (zie figuur 13bcd):

- **Stap 1: Teken een assenstelsel.**
- **Stap 2: Zet bij elke as een grootheid, met de bijbehorende eenheid.
Bijvoorbeeld: → tijd (min) en → temperatuur (°C).**
- **Stap 3: Zet langs beide assen een geschikte schaalverdeling.**
- **Stap 4: Teken de meetresultaten in als punten.**
- **Stap 5: Teken een rechte lijn of een vloeiende kromme die zo goed mogelijk bij de punten aansluit. Je mag de punten niet een voor een met elkaar verbinden.
Het geeft dus niet dat de rechte lijn of kromme niet precies door alle meetpunten loopt.**



tijd (min)	temperatuur (°C)
0	20
2	48
4	72
6	95
8	100
10	100

▶ **figuur 13**
van tabel naar grafiek

14 Een verslag schrijven

Bij een onderzoek hoort een verslag. In dat verslag leg je uit hoe het onderzoek is verlopen. Iemand die er niet bij geweest is, moet precies kunnen begrijpen wat er allemaal is gebeurd. Soms moet je ook een verslag maken van een practicumproef of een thuisopdracht.

Deel je verslag als volgt in:

- Titelpagina
  Hierop vermeld je: de titel van het onderzoek, de namen van de leerlingen in het onderzoeksgroepje, de klas, de naam van je docent, de datum en het jaartal.

- § 1 Onderzoeksvraag
  In deze paragraaf leg je uit welke vraag je met je onderzoek wilde beantwoorden.

- § 2 Werkplan
  Hierin staat:
  – een lijst met de spullen die je hebt gebruikt;
  – een tekening van de opstelling die je hebt gemaakt;
  – een korte beschrijving van wat je hebt gedaan.

- § 3 Onderzoeksresultaten
  Hierin vermeld je wat je hebt waargenomen of gemeten: in de vorm van tekst, tabellen, grafieken, foto's en dergelijke.

- § 4 Conclusie
  Hierin staat het antwoord op de onderzoeksvraag.

Een verslag hoort er goed uit te zien. Het gaat niet alleen om de inhoud van je verslag. Je moet die inhoud ook duidelijk en overzichtelijk presenteren.

Register

Colofon

Auteurs:
P. van Hoeflaken
R. Tromp

Met medewerking van:
Th. Smits

Illustraties:
Technisch tekenburo BB, Tiel
Yde Bouma, Leusden
Erik Eshuis, Groningen
Anke Nobel, Lelystad
Flohr Vormgeving, De Meern

Foto omslag:
Shutterstock
Binnenwerk openingsbeelden: Shutterstock, Hollandse Hoogte, Corbis Images

Beeldverwerving:
Fundamentaal communicatie|educatie, Culemborg

Ontwerp:
Uitgeverij Malmberg, Den Bosch

Opmaak:
Nieuwe Stijl, Den Haag

ISBN 978 90 345 8328 4
Vierde editie, tiende oplage

MALMBERG

Foto's:
AGU BV, Alkmaar: p. 281
Anke Nobel: p. 6, 7
Audion Elektro BV, Weesp: p. 98
Barco n.v., Kortrijk, België: p. 256
Canstockphoto.nl, AnnieAnnie: p. 31
Cindy Heijkoop, Papendrecht: p. 49, 50, 65, 268
Corbis Images, Amsterdam: p. 62, 96, 99, 192, 233
Dave Taylor: p. 293
Eurofysica, Rosmalen: p. 46
Eurol BV, Nijverdal: p. 78
Fotosearch: p. 96
Fundamental Photographs, Richard Megna, 58, 211
Getty Images, : p. 11, 33, 48, 70, 90, 175, 178, 216 259, 274, 276, 285, 298
Gijs Versteegh: p. 170
Hollandse Hoogte: p. 11, 14, 50, 91, 97, 108, 125, 142, 155, 168, 169, 184, 217, 236, 240, 241, 242, 262, 296, 303
http://cab.inta-csic.es/rems/marsweather.html: p. 130
Jakob Breimer, Zeeland: p. 22, 24, 61, 73, 120, 130, 137, 140, 143, 149, 153, 164, 247, 253, 270, 300, 312
Jorrit Lousberg/Nuon Solar Team: p. 171
Larry Reed and Shadowlight Productions: p. 292
Leonard Jellicoe: p. 214
NASA, Washington DC, USA: p. 10, 95, 127
Nationale Beeldbank, Amsterdam: p. 9, 107, 127, 202, 282, 286
Omega Pharma: p. 305
Penn State: p. 77
Philips Lightning, Eindhoven: p. 151, 267
Pixabay.com: p. 111, 127
Sanyo, Lier, België: p. 156
Science Photo Library: p. 59, 70, 257, 287
Seiko Nederland BV, Schiedam, IAAF: p. 180
Shutterstock: p. 8, 20, 21, 22, 27, 37, 55, 56, 57, 66, 87, 88, 111, 113, 115, 118, 126, 131, 136, 141, 142, 153, 220, 221, 231, 258, 263, 266, 267, 275, 280,295, 306, 311
si-foto.com: p. 274
Starco: p. 241
Tom Haflinger: p. 213
tonyhallas/astrophoto.com: p. 299
Trio: p. 273
UNECE: p. 15
Wan Chi Lau: p. 215
Weems & Plath: p. 87
You Tube: p. 179

AUTEURS:
P. van Hoeflaken
R. Tromp

EINDREDACTIE:
R. Tromp

MET MEDEWERKING VAN:
Th. Smits

ISBN 978 90 345 8328 4



551471

MALMBERG